

Janne Pihlajaniemi

JÄTEILMAN SEINÄPUHALLUKSEN VAIKUTUS RAKENNUSHANKKEESSA

JÄTEILMAN SEINÄPUHALLUKSEN VAIKUTUS RAKENNUSHANKKEESSA

Janne Pihlajaniemi
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Talotekniikan tutkinto-ohjelma (YAMK)
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Janne Pihlajaniemi

Opinnäytetyön nimi: Jäteilman seinäpuhalluksen vaikutus rakennushankkeessa

Työn ohjaaja(t): Tomi Jäävirta ja Jarkko Hurme

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 51 + 3 liitettä

Asuinkerrostalorakentamisessa yleisin tapa toteuttaa ilmanvaihtojärjestelmä on asuntokohtainen hajautettu järjestelmä. Kyseisen toteutustavan keskeisimpiä kysymyksiä on, mitä reittiä jäteilma puhalletaan ulos. Vaihtoehtoina ovat jäteilman puhaltaminen vesikatolle tai jäteilman seinäpuhallus. Näistä seinäpuhallus on muodostunut viime vuosina hyvin yleiseksi tavaksi toteuttaa asuinkerrostalon ilmanvaihto. Tässä työssä selvitetään, onko jäteilman seinäpuhallusratkaisun käyttämiselle olemassa perusteet. Työ perustuu pitkälti tekijän LVI-suunnittelijan työssä aiheesta keräämään käytännön kokemukseen.

Työssä on haastatteluin selvitetty jäteilman ulospuhallusratkaisun vaikutuksia rakennushankkeen suunnittelutyöhön ja suunnittelun kustannuksiin. Suunnittelutyöhön ratkaisulla on vaikutusta, mutta suunnittelun kustannuksiin ei juurikaan. Merkittävin suunnittelukustannukseksi laskettava tekijä on mahdollisesti tarvittava virtaussimulointi. Sitä ei kuitenkaan läheskään aina tarvita.

Jäteilman ulospuhallusratkaisujen vaikutusta energiankulutukseen on selvitetty laskelmilla. Seinäpuhallusratkaisussa poistoilmapuhaltimien sähkönkulutus on alhaisempi kuin vesikatolle puhalluksessa. Ero on kohtuullisen suuri korkeassa rakentamisessa, mutta matalassa rakentamisessa seinäpuhallusta ei voida perustella alhaisemmalla energiankulutuksella.

Jäteilman ulospuhallusratkaisujen kustannusvaikutuksia on selvitetty laskelmilla. Jäteilman seinäpuhallus on vesikatolle puhaltamista selkeästi edullisempi rakentaa korkeisiin rakennuksiin, mutta matalammassa rakentamisessa ero on hyvin pieni. Kustannusmielessä seinäpuhallusratkaisu ei ole perusteltu matalassa rakentamisessa. Kustannuslaskelmien tueksi on tehty rakennusliikkeiden edustajille kysely. Kyselyllä on selvitetty, ovatko tätä työtä varten laaditut kustannuslaskelmien tulokset oikeaa suuruusluokkaa. Kyselyn perusteella laskelmien voidaan olettaa pitävän paikkansa.

Seinäpuhallusratkaisun mahdollisia ongelmakohtia ei vielä tunneta kovin kattavasti. Niitä tulisi tutkia tarkemmin, jotta voitaisiin varmistua, tulisiko seinäpuhallusratkaisua käyttää vain korkeassa rakentamisessa vai olisiko se perusteltu rakentamistapa myös matalassa rakentamisessa.

Asiasanat: Energiankulutus, ilmanvaihto, kerrostalot, kustannusarvio.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Building Services

Author: Pihlajaniemi, Janne

Title of thesis: Influence of Exhaust Air Solution in a Building Project

Supervisors: Jäävirta, Tomi & Hurme, Jarkko

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 51 + 3 appendix

In residential apartment building construction, it has become a very common way to mount exhaust air devices to wall surfaces. In this work, it was investigated whether there are grounds for using an exhaust air wall blowing solution.

The cost effects of exhaust air solutions were calculated. In tall buildings it is clearly cheaper to build exhaust air devices onto wall surfaces than on a roof. In lower construction the difference is very small.

The effect of exhaust air solutions on energy consumption were investigated by calculations. In the wall blowing solution, the electricity consumption of the exhaust air fans is lower than in the blowing on a roof.

The possible problem areas of the wall blowing solution are not very comprehensive yet. It should be examined more closely to ensure whether the wall blowing solution should only be used in high-rise construction or if it would be a justified construction method also in low-rise construction.

Keywords: Block of flats, cost estimation, energy consumption, ventilation.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SEINÄPUHALLUKSEN PÄÄPERIAATTEET	7
2.1	Seinäpuhalluksen ja katolle puhalluksen erot.....	7
2.2	Suunnittelua ohjaavat asetukset ja ohjeet	10
2.3	Ashraen ohjeistus seinäpuhalluksesta	12
2.4	Seinäpuhalluslaitteen toiminta	13
2.5	Seinäpuhallukseen käytettävät päätelaitteet	16
2.6	Kanaviston painehäviön teoriaa	18
2.7	Mahdolliset toimintaongelmat	18
3	VAIKUTUKSET RAKENNUKSEN SUUNNITTELUUN.....	20
3.1	Vaikutukset rakennuksen arkkitehtuuriin	20
3.2	Vaikutukset rakennuksen rakennustekniikkaan	22
4	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS	24
4.1	Kanaviston painehäviö laskentatapauksessa	24
4.2	Puhaltimien kuluttaman sähköenergian kustannukset.....	28
5	ULOSPUHALLUSRATKAISUN VAIKUTUKSET RAKENNUSHANKKEEN KUSTANNUKSIIN.....	31
5.1	Suunnitteluvaiheen kustannukset.....	31
5.2	LVI-tekniikan kustannukset.....	32
5.3	Rakennustekniikan kustannukset	33
5.4	Kustannustekijöiden kokonaisvaikutus	34
6	RAKENNUSLIIKKEIDEN NÄKEMYS SEINÄPUHALLUKSEEN	38
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	51

1 JOHDANTO

Asuinkerrostalorakentamisessa huoneistokohtainen ilmanvaihto on markkinoiden käytetyin asuntojen ilmanvaihtoratkaisu. Kyseisessä ilmanvaihtoratkaisussa yksi rakennushankkeen kannalta merkittävimpiä valintoja on se, millä tavalla jäteilma puhalletaan ulos rakennuksesta. Vaihtoehdot ovat jäteilman puhaltaminen vesikatolta tai ulkoseinän kautta ulos. Näistä ensimmäinen on perinteisemmin käytetty ja jälkimmäinen viime vuosina yleistynyt ratkaisu.

Tässä työssä jäteilman ulospuhallusta käsitellään seinäpuhallusratkaisun näkökulmasta. Työssä selvitetään seinäpuhalluksen vaikutukset rakennuksen arkkitehtuuriin, rakennustekniikkaan, energiatehokkuuteen sekä rakennushankkeen kustannuksiin. Näiden lähestymistapojen pohjalta tehdään myös vertailua jäteilman vesikatolta puhallukseen verrattuna.

Seinäpuhallus on lyhyessä ajassa saanut valta-aseman ulospuhallusratkaisuna kerrostalorakentamisessa. Siitä on muodostunut vakioratkaisu, josta poikkeaminen koetaan alalla vallitsevan suunnituksen mukaan jopa jonkinlaiseksi rakennushankkeen epäonnistumiseksi. Ratkaisun toimivuudesta ei ole kuitenkaan vielä kattavasti käytännön kokemuksia, vaan ratkaisun järkevyyttä joudutaan tutkimaan ja pohtimaan teoriassa.

2 SEINÄPUHALLUKSEN PÄÄPERIAATTEET

Seinäpuhalluksen periaate on yksinkertainen. Asunnon jäteilma kanavoidaan ilmanvaihtokoneelta ulkoseinään asennettavaan ulospuhalluslaitteeseen, jonka kautta jäteilma puhalletaan rakennuksesta pois riittävän suurella nopeudella. Seinäpuhallukseen voidaan käyttää päätelaitetta johon kytketään sekä raitis- että jäteilmakanavat, tai vaihtoehtoisesti päätelaitteet voivat olla erillisiä laitteita. Yhdistelmälaiteesta on viime vuosina muodostunut selkeästi yleisempi ratkaisu.

Jäteilman puhalluksessa vesikatolle asunnon jäteilma kanavoidaan ilmanvaihtokoneelta pystykanavalla ensin rakennuksen ullakolle, josta kanava jatketaan vesikatolle. Vesikatolle asennetaan jokaisen asunnon jäteilmakanavan päähän ulospuhallushajottaja tai vaihtoehtoisesti usean asunnon jäteilmakanavat kootaan yhteiseen rakennusaineiseen kokoojapiippuun. Asunnon ja ullakon välillä jäteilmakanava sijoitetaan pystyroiloon.

2.1 Seinäpuhalluksen ja katolle puhalluksen erot

Seinäpuhalluslaitteen käyttäminen lisää käytännössä vain jäteilmakanavien vaakavetoja, jolloin negatiivisiksi katsottavat vaikutukset asuntojen sisällä jäävät vähäisiksi. Jäteilmakanavien vaakavetojen koteloinnit ovat ainoa näkyvä lisäys katolle puhallukseen verrattuna. Toisaalta katolle puhalluksen vaatimat kanavien pystyroilot jäävät pois. Myöskään vesikatolle rakennettavia jäteilmakanavien kokoojapiippuja tai vaihtoehtoisesti isoa määrää yksittäisiä läpivientipiippuja ei tarvita. Vesikatteeseen tehtävien läpivientien määrä pienenee merkittävästi seinäpuhallusratkaisulla.

Seinäpuhallusratkaisussa päällekkäiset asunnot ovat ainakin teoriassa keskenään samanlaisia, mikä ei käytännössä koskaan toteudu puhallettaessa jäteilma vesikatolle. Tämä mahdollistaa asuntojen sisälle tehtävien tilaratkaisujen vakioimisen. Myös ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus on kerroksesta riippumatta samanlaisissa asunnoissa ainakin teoriassa yhtä suurta.

Rakennuksen julkisivuun seinäpuhallusratkaisulla on etenkin arkkitehtisuunnittelun kannalta varsin voimakas vaikutus. Ulospuhalluslaitteet ovat lähes poikkeuksetta seinäpinnasta ulkonevia ja pelkkään raitisilmasäleikköön verrattuna massiivisempia ja kiinnittävät näin ollen julkisivussa enemmän

huomiota. Kuvassa 1 näkyy kerrostalon ulkoseinään asennettuja ulospuhalluksen yhdistelmälaitteita. Kuva havainnollistaa, kuinka paljon laitteet ulkonevat seinäpinnasta.



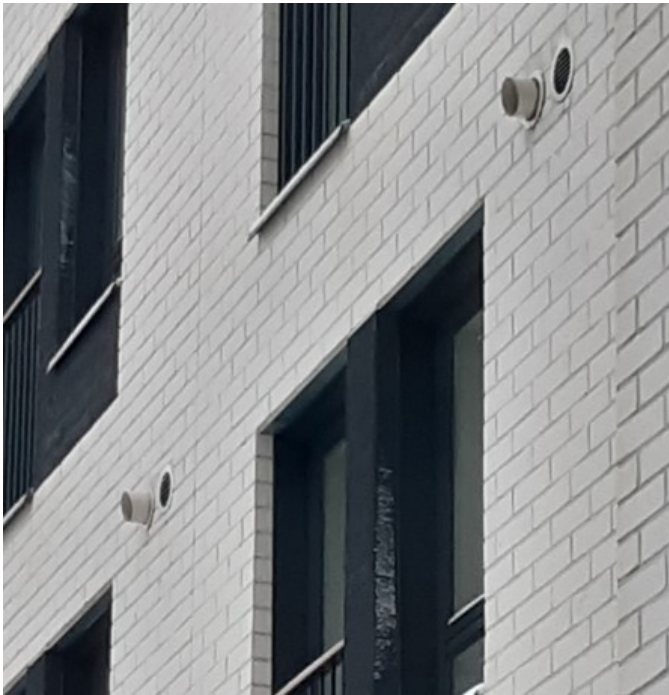
KUVA 1. Vilpe IO -yhdistelmälaitteita kerrostalon ulkoseinässä

Seinäpuhalluslaitteeseen verrattuna pelkkä raitisilmasäleikkö ulkoseinässä on huomaamattomampi ratkaisu. Ulkoseinään asennettua raitisilmasäleikköä on havainnollistettu kuvassa 2.



KUVA 2. Raitisilmasäleikkö kerrostalon ulkoseinässä

Seinäpuhallukseen on olemassa yhdistelmälaitteelle vaihtoehtoinen ratkaisu, jossa ulospuhallus- ja raitisilmalaitteet ovat erillisiä laitteita. Kuvassa 3 näkyy erillisiä ulospuhallus- ja raitisilmalaitteita asennettuna kerrostalon ulkoseinään. Ratkaisu mahdollistaa sen, että tarvittaessa ulospuhallus- ja raitisilmalaitteet voidaan asentaa myös erilleen toisistaan. Ne voitaisiin sijoittaa esimerkiksi eri seinille.



KUVA 3. Climecon UPA -ulospuhalluslaitteita ja raitisilmäsäleiköitä kerrostalon ulkoseinässä

Seinäpuhallusratkaisussa järjestelmän toimivuuteen voi tietyllä tuulen voimakkuudella ja suunnalla olla voimakas vaikutus. Suoraan seinäpuhalluslaitteeseen puhaltava tuuli saattaa aiheuttaa ulospuhallukselle niin suuren vastuksen, että poistoilmamäärä asunnossa hetkellisesti pienenee merkittävästi. Samalla tuuli saattaa painaa raitisilmäsäleiköstä kanavistoon ylimääräistä raitisilmaa, jolloin asunnon painesuhde mahdollisesti kääntyy hetkellisesti kovastikin ylipaineiseksi. Ulkolämpötilan vaihtelulla sen sijaan ei seinäpuhallusratkaisussa ole vaikutusta järjestelmän toimintaan. Luotettavan virtaussimuloinnin merkitys korostuu sitä enemmän, mitä korkeammasta rakennuksesta on kyse. Virtaussimulointien roolia rakennushankkeessa käsitellään luvuissa 2.2 ja 5.1.

Katolle puhalluksessa ulkolämpötilojen vaihtelun aiheuttamat paine-erot hankaloittavat järjestelmän säätöä. Korkeissa jäteilmän pystykanavissa todellinen paineentuoton tarve vaihtelee ulkona vallitsevien olosuhteiden mukaan. Näin ollen ilmanvaihtojärjestelmä toimii säädetyllä tavalla vain säätöhetken ulkoilman olosuhteissa.

2.2 Suunnittelua ohjaavat asetukset ja ohjeet

Seinäpuhalluksen suunnittelua ohjataan sekä asetus- että ohjetasolla. Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 käsittelee uudisrakentamisen ilmanvaihtoratkaisuja. Asetuksessa on selkeästi määritelty, minkälaista sisäilmaa voidaan johtaa seinäpuhalluslaitteen kautta ulos. Asetustasolla on siis määritelty, että asuinhuoneistojen jäteilma voidaan johtaa tiettyjen edellytysten täytyessä ulos seinäpuhalluslaitteen kautta. ”Ulkoilmaa ei saa ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan kautta tai ulkoilman laatua pilaavien lähteiden läheisyydestä. - - Ulospuhallusilman johtaminen ulos rakennuksesta on suunniteltava siten, ettei rakennukselle tai muille rakennuksille, ympäristölle tai niiden käyttäjille aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa. - - asuinhuoneistojen ilmanvaihdon ulospuhallusilma voidaan johtaa ulos myös rakennuksen seinässä olevan ulospuhallusilmalaitteen kautta (seinäpuhallus), jos muutoin tässä momentissa esitetyt vaatimukset täytetään.” (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, §14.)

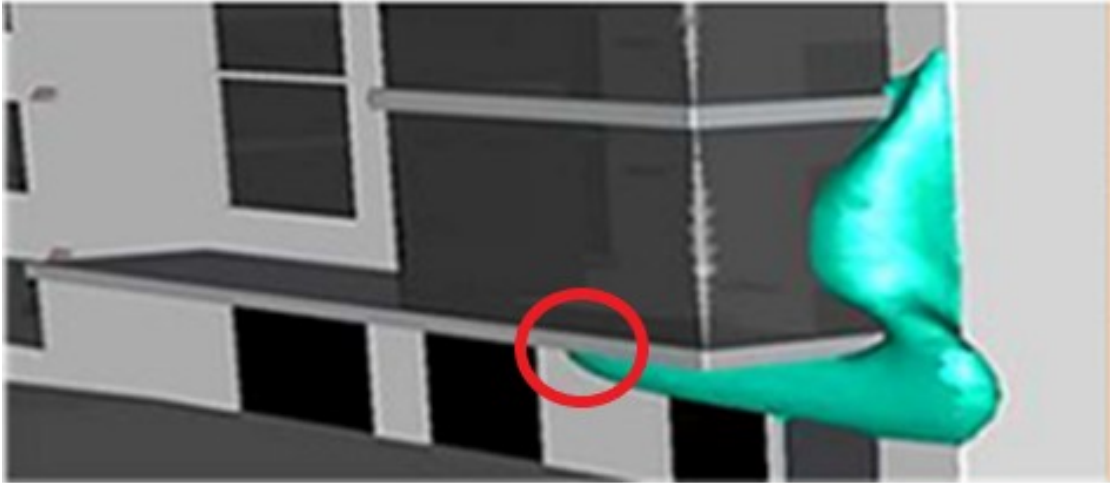
Suomen suurimpien kaupunkien rakennusvalvonnat ovat yhteistyössä luoneet Top Ten -käytännöt ohjaamaan rakennushankkeita (Rakentamisen Top Ten -käytännöt). Top Ten -ohjekortit ohjaavat noudattamaan seinäpuhalluslaitteiden sijoittamisessa Sisäilmasto- ja ilmanvaihto -opasta. Kyseinen opas on Talotekninen teollisuus ja kauppa ry:n piirissä toimivan sisätyöryhmän ylläpitämä, ja se on luotu tulkintaoppaaksi Ympäristöministeriön asetukselle 1009/2017. Opas ei ole muodostunut käytännössä noudatettavaksi kaikilla paikkakunnilla ja tämä mahdollistaakin toisistaan poikkeavia tulkintoja seinäpuhalluslaitteiden sijoittelusta eri paikkakuntien välillä. Koska opasta noudatetaan suurissa kaupungeissa, ja näin ollen se koskee suurinta osaa uudisrakentamishankkeista, voidaan sen kuitenkin katsoa olevan hyvin yleispätevästi käytössä.

Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-oppaassa on määritelty reunaehdot ulospuhalluslaitteen sijoittamiselle siten, ettei siitä aiheudu haittaa. Kyseiset ehdot on esitetty taulukossa 1. Taulukosta huomataan, että seinäpuhalluslaitteen sijoittamiselle on asetettu lukuista määrä varoetäisyyksiä tai erityisvaatimuksia.

TAULUKKO 1. Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-oppaassa määritellyt vaatimukset seinäpuhalluslaitteen sijoittamiselle ja toimivuudelle (Talotekniikkainfo 2021.)

Vaatus	Vaatimuksen täytyminen
Seinäpuhalluslaitteen etäisyys toisten huoneistojen ulkoilmalaitteista, parvekkeista ja erikseen määritellyistä avattavista ikkunoista.	Vähintään 3 m
Seinäpuhalluslaitteen vapaan ulospuhallusaukon keskimääräinen virtausnopeus käyttöajan tehostamattomalla ilmavirralla	Vähintään 5 m/s
Seinäpuhalluslaitteen etäisyys viereisistä seinistä	Vähintään 3 m
Seinäpuhalluslaitteen etäisyys naapuritontista	Vähintään 4 m
Seinäpuhalluslaitteen etäisyys vastapäisestä seinästä tai rakennuksesta	Vähintään 15 m
Seinäpuhalluslaitteen sijoitus	ei sijoiteta umpinaisten sisäpihojen puoleisille julkisivuille
Seinäpuhalluslaitteen sijoitus	ei sijoiteta julkisivussa oleviin syvennyksiin tai nurkkauksiin
Seinäpuhalluslaitteen toimivuus	varmistettu suunnitellussa käyttötarkoituksessa

Mikäli taulukon 1 ehtoja ei saada kaikilta osin täyttämään, ulospuhalluslaitteiden sijoitusten toimivuutta voidaan tarkastella virtaussimuloinnein. Virtaussimulointi on käytännössä pakollinen tapa osoittaa laitteiden riittävän hyvän toimivuus. Virtaussimuloinnin avulla tarkastellaan päätelaitteen ulospuhallusilman käyttäytymistä tietyillä tuuliprofiileilla. Simuloinnin avulla voidaan selvittää esimerkiksi se, päätyykö ulos puhallettavaa ilmaa naapureiden ilmanottoilaitteisiin. Esimerkki virtaussimuloinnin tulokseksi saatavasta virtauskuviosta on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Esimerkki ulospuhalluslaitteen virtauskuviosta (Eurofins 2019). Ulospuhalluslaite sijaitsee punaisella ympyröidyssä kohdassa.

2.3 Ashraen ohjeistus seinäpuhalluksesta

ASHRAE on maailmanlaajuinen yhdistys, joka pyrkii edistämään ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä kestävä teknologian avulla (<https://www.ashrae.org>). Yhdistys on luonut ohjeistuksia, jotka koskevat muun muassa ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelua. ASHRAEn ohjeistuksista löytyviä seinäpuhallukseen liittyviä kohtia voi pitää vähintään hyvinä lähestymiskulmina aiheeseen.

ASHRAE on julkaissut korkeiden rakennusten taloteknisten järjestelmien suunnitteluohjeen ASHRAE Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems. Ohjeen mukaan on yleinen näkemys, että raitis- ja jäteilmalaitteiden välillä tulisi pitää riittävät minimietäisyydet, jotta vältetään ilmavirtojen oikovirtaukselta. Toisena asiana ohje huomauttaa siitä, että tuulen vaikutuksesta seinästä puhallettava jäteilma saattaa kiinnittyä rakennuksen julkisivuun ja kulkeutua julkisivua pitkin raitisilmalaitteisiin. Kyseistä ongelmaa voidaan ennaltaehkäistä riittävän suurella ulospuhallusnopeudella, mutta nopeuden kasvattaminen saattaa johtaa ääniongelmiiin. (Simmonds 2015, 96.)

ASHRAEn suunnitteluohjeen huomio tuulen vaikutuksesta ilmavirtoihin on todennäköisesti aiheellinen. Virtaussimuloinnin pyritään selvittämään seinäpuhalluslaitteiden ilmavirtojen teoreettinen käyttäytyminen tietyillä paikkakohtaisilla tuuliprofileilla. Simuloinnit perustuvat aina joukkoon oletuksia, mikä tekee simulointien tuloksista hyvin teoreettisia. Yhtenä vaikuttavana tekijänä esimerkiksi rakennettu ympäristö saattaa muuttua paljonkin verrattuna simuloinnissa käytettyyn

olettamukseen. Ympäristön muuttuminen taas johtaa siihen, että simuloinnissa käytetty tuuliprofiili ei enää pidäkään paikkaansa. Tuulen vaikutuksen tarkka huomioiminen simuloinneissa vaikuttaa lähes mahdottomalta, koska tuuliprofiilit ovat niin herkkiä muutoksille.

Tuulen vaikutus ilmanvaihtojärjestelmien toimivuuteen tuntuu saaneen varsin vähän huomiota rakennusalalla. Aiheeseen suhtaudutaan melko keveästi. Tästä johtuu se, että tuulen aiheuttamat vaikutukset ilmanvaihdon toimivuuteen voidaan osoittaa täysin teoreettisilla laskelmilla, joiden paikkansapitävyys todellisissa olosuhteissa on kyseenalainen. Luultavasti tuulen vaikutus seinäpuhalluslaitteiden toimivuuteen on merkittävämpi kuin minkälaisen huomion asia saa. ASHRAEn suunnitteluohjeen huomiot tulisi mielestäni ottaa tarkasteluun suomalaisessa rakentamisessa ja ohjata rakentamista enemmän pois liian teoreettisista järjestelmien toimivuustarkasteluista.

2.4 Seinäpuhalluslaitteen toiminta

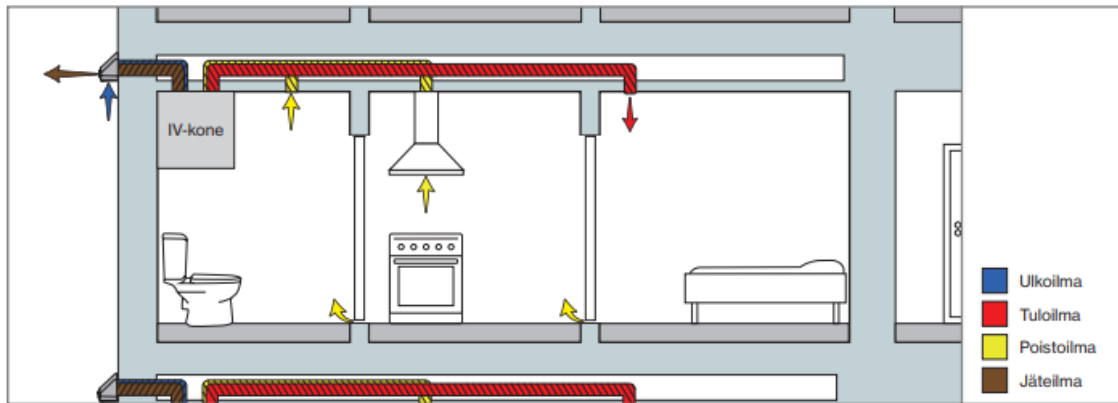
Kaikkien markkinoilla olevien seinäpuhalluslaitteiden toimintaperiaate ei ole täysin sama. Laitteiden materiaaleissa, ulkonäössä ja teknisissä suoritusarvoissa on eroja, ja näistä syistä täytyykin aina tapauskohtaisesti tarkastella laitteiden sopivuus haluttuun käyttökohteeseen. Seinäpuhalluslaitteen teknisen toimivuuden suhteen on asetettu vaatimus, että ulospuhallusnopeuden virtausaukossa tulee olla vähintään 5 m/s. Ulospuhalluslaitteiden toiminta perustuu siihen, että jäteilma puhalletaan laitteesta ulos riittävän kovalla nopeudella. Ulospuhallusnopeus lasketaan kaavalla 1 (Sandberg 2014, 88).

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (1)$$

jossa v on virtauksen nopeus [m/s], q_v on tilavuusvirta [m^3/s] ja A on ulospuhallussuuttimen poikkipinta-ala [m^2] (Sandberg 2014, 88). Kaavasta huomataan, että ulospuhallusnopeutta saadaan kasvatettua joko kasvattamalla tilavuusvirtaa tai pienentämällä ulospuhallussuuttimen poikkipinta-alaa. Näin ollen ulospuhallettavan ilmavirran tulee siis olla riittävän suuri, jotta ehto 5 m/s ulospuhallusnopeudesta täyttyy.

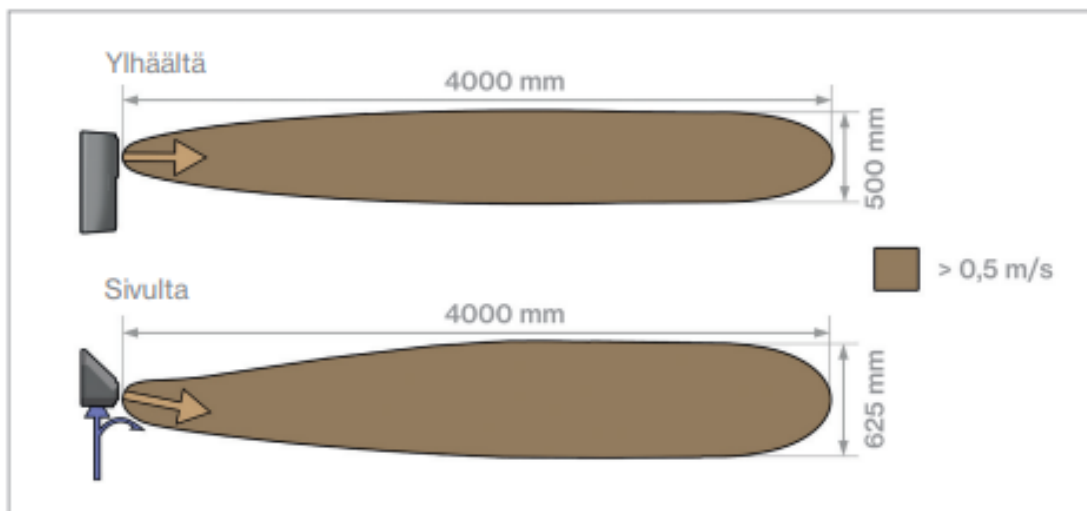
Vilpe IO 125 -yhdistelmälaitteen periaatteellinen sijoitus ulkoseinälle ja laitteen toiminta on esitetty kuvassa 5. Kuvassa sininen nuoli kuvastaa raitisilmaa, joka virtaa sisään laitteen alapinnassa olevan imuaukon kautta. Ruskea nuoli kuvastaa asunnosta ulos puhallettavaa jäteilmaa. Kuvassa on

myös nähtävissä kerrostalorakentamisessa tyypillinen tilanne, jossa alapuolisen asunnon yhdistelmälaite on samalla kohdalla kuin ylemmän asunnon vastaava laite. Mikäli ulos puhallettavan ilman nopeus olisi alhainen ja/tai samaan aikaan tuulen suunta olisi kohti laitetta, saattaisi ulospuhallusilma jäädä liian lähelle rakennusta ja päätyä joko kyseisen asunnon tai jonkun toisen asunnon raitisilma-aukkoon.



KUVA 5. Vilpe IO 125 -laitteen periaateleikkaus (Vilpe Oy 2022a)

Vilpe IO 125 -yhdistelmälaitteen ulospuhallusilman virtauskuviot on esitetty kuvassa 6. Virtauskuviot on esitetty ilmamäärälle 30 l/s. Kuvassa ruskealla on esitetty ulos puhallettavan ilmavirran virtauksen muotoa ja nopeutta. Kuvan mukaan virtausnopeus on enemmän kuin 0,5 m/s vielä neljän metrin päässä laitteesta. Kuvasta ei voi kuitenkaan päätellä, mikä ilman nopeus on missäkin kohdassa virtauskuviota.

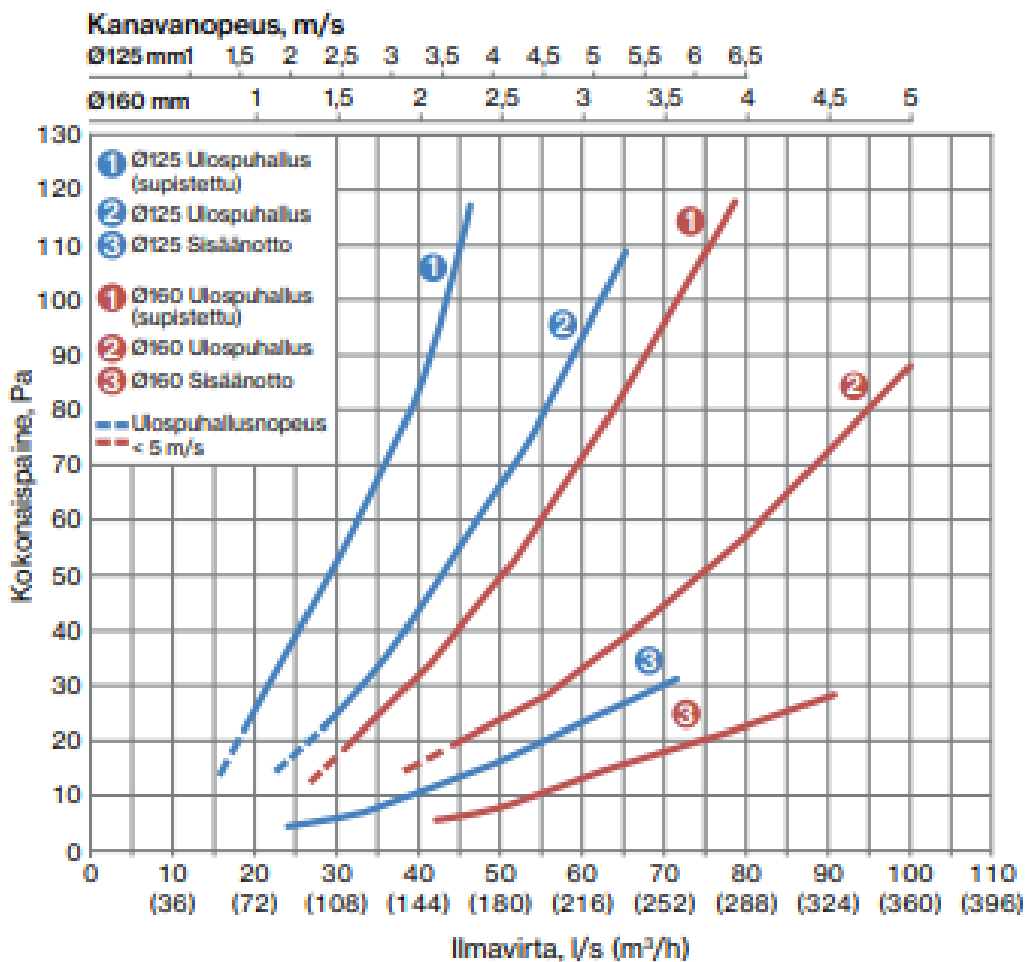


KUVA 6. Vilpe IO 125 -laitteen virtauskuviot (Vilpe Oy 2022a)

Kuvasta 7 voidaan lukea Vilpe IO -laitteen eri kokovaihtoehtojen suoritusarvoja. Esimerkiksi sinisellä värillä esitetty käyrä numero 2 kuvastaa Vilpe IO 125 -laitteen suoritusarvoja. Käyrältä voidaan lukea, että saavuttaakseen vaaditun 5 m/s ulospuhallusnopeuden laitteen ilmavirran tulee olla vähintään 28 l/s. Käyrästä on esitetty ilmavirta-alue, jolla ulospuhallusnopeus on vähemmän kuin 5 m/s. Käyrästä voidaan lukea, että hyvin pienillä ilmavirroilla on käytettävä laitetta, jota on kuvattu sinisellä värillä numerolla 1. Kyseinen laite on Vilpe IO 125 -laite, joka on varustettu ulospuhallusaukkoon asennetulla supistuskappaleella. Supistuskappale pienentää ulospuhallusaukon pinta-alaa ja näin ollen kasvattaa ulospuhallusnopeutta.

Painehäviö

EN 12238:2001
ISO 5135:1997



KUVA 7. Vilpe IO -laitteen suoritusarvot (Vilpe Oy 2022a)

Asuntoilmanvaihdon suunnittelussa on huomioitava, että joidenkin tulkintojen mukaan vaatimus 5 m/s:n ulospuhallusnopeudesta tulee täyttää joka käyttötilanteessa. Tällöin ei asunnon

ilmanvaihdon ohjaukseen välttämättä voida rakentaa niin kutsuttua poissa-asentoa. Poissa-asennossa asunnon ilmanvaihdon ilmamäärää pudotetaan käyttöajan ilmavirrasta. Poissa-asennossa ilmanvaihtokoneen puhaltimien pyörimisnopeus putoaa ja säästää sekä puhaltimien sähköenergiaa että talviaikaan jälkilämmitykseen tarvittavaa energiaa. Jos poissa-asentoa ei voida ottaa käyttöön, asunnon ilmanvaihtoon joudutaan mahdollisesti käyttämään enemmän energiaa kuin ilmanvaihdon kannalta olisi tarpeellista.

2.5 Seinäpuhallukseen käytettävät päätelaitteet

Seinäpuhallukseen käytettäviä päätelaitteita on kahta päätyyppiä: yhdistelmälaitteita, joissa on raitis- ja jäteilmatoiminnot yhdessä laitteessa, tai toisena vaihtoehtona laitteet, joissa on pelkkä jäteilmatoiminto. Laitteita valmistetaan muovisena ja metallisena. Muovisten laitteiden huono puoli on suppea värivalikoima, kun taas metalliset laitteet voidaan polttomaalata haluttuun värisävyyn.

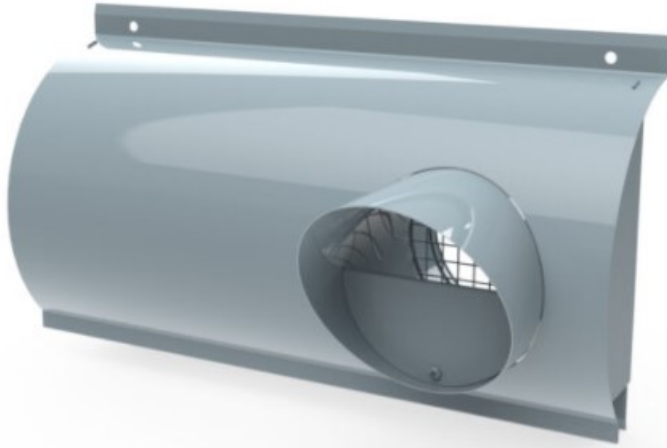
Yhdistelmälaitteiden toiminnan periaate on hyvin samankaltainen valmistajasta riippumatta. Raitisilma otetaan sisään laitteen alapuoliselta vaakapinnalta ja jäteilma puhalletaan riittävän suurella nopeudella vaakasuoraan poispäin laitteesta. Jäteilman sekoittuminen raitisilmaan pyritään estämään tai ainakin minimoimaan.

Kuvassa 8 on esitetty Vilpe Oy:n yhdistelmälaite. Laitteen etuna on, että sen käteisyttä voidaan vaihtaa. Laitteen materiaali on muovi, mikä tarkoittaa, että sen väri vaihtoehdot on rajattu valmistajan määrittämien vaihtoehtojen mukaisesti.



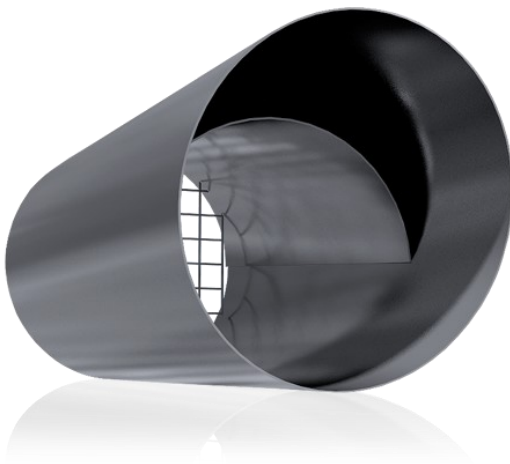
KUVA 8. Vilpen IO-seinäelementti. (Vilpe Oy 2022b)

Päätelaitteiden toinen materiaalivaihtoehto on metalli. Metallisen laitteen etuna on se, että sen voi polttomaalata haluttuun värisävyyteen ja näin tehokkaammin häivyttää osaksi julkisivua. Esimerkki metallisesta yhdistelmälaiteesta on kuvassa 9.



KUVA 9. ETS Nord Oy:n RVC -ulko- ja ulospuhalluslaite. (ETS Nord Oy 2022)

Seinälle asennettavien jäteilmalaitteiden toimintaperiaate on samanlainen kuin yhdistelmälaiteissa olevan jäteilmatoiminnon. Jäteilma puhalletaan riittävän suurella nopeudella laitteesta pois päin. Esimerkki ulkoseinään asennettavasta laitteesta on kuvassa 10.



KUVA 10. Climecon Oy:n UPA-ulospuhallussuutin. (Climecon Oy 2022)

2.6 Kanaviston painehäviön teoriaa

Toimiva ilmanvaihto vaatii riittävät tilakohtaiset ilmavirrat. Asunnon ilmanvaihtojärjestelmän tilakohtaiset ilmamäärät säädetään halutuiksi tilakohtaisilla päätelaitteilla. Jotta päätelaitteelle voidaan säätää haluttu ilmavirta, täytyy päätelaitteella olla käytettävissään riittävä paine. Ilmanvaihtokoneen puhaltimen täytyy tuottaa kanavaan paine, joka on suuruudeltaan vähintään kanaviston painehäviön verran. Kanaviston painehäviö muodostuu kitkapainehäviöstä ja muodonmuutosten, kuten käyrien, haaraosien ja kanavistovarusteiden kertavastuksien painehäviöstä. Kanaviston painehäviöt lasketaan kaavalla 2 (Sandberg 2014, 88).

$$\Delta p_{\text{häviöt}} = \Sigma \Delta p_{\lambda} + \Sigma \Delta p_{\zeta} = \Sigma \left(\frac{\lambda L}{d} * 0,5 * \rho v^2 \right) + \Sigma (\zeta * 0,5 * \rho v^2) \quad (2)$$

jossa Δp_{λ} on kanavaosuudessa syntyvä kitkapainehäviö [Pa], Δp_{ζ} kertavastuspainehäviö yhdessä muodonmuutoksessa [Pa], λ on kitkavastuskerroin, L on kanavan pituus [m], d on kanavan halkaisija [m] ja ζ on muodonmuutoksen kertavastusluku. Kanaviston muodonmuutosten kertavastusluvut on esitetty liitteessä 1.

2.7 Mahdolliset toimintaongelmat

Seinäpuhalluksesta on muotoutunut kerrostalorakentamisen vakioratkaisu hyvin vähäisillä käytännön kokemuksilla toteutustavasta. Rakentamiseen vaikuttavat asiat tunnetaan kyllä suhteellisen hyvin, mutta käytön aikaiset ongelmat eivät ole vielä tiedossa. Käytön aikaiset ongelmat eivät saa suunnitteluvaiheessa käytännössä juuri huomiota, vaan yleensä keskitytään ratkomaan rakentamisessa eteen tulevia asioita. Seuraavassa on esitetty joitakin mahdollisia ongelmia, joita seinäpuhallus saattaisi aiheuttaa. Aiheet ovat puhtaasti teoreettista pohdintaa ja pidemmälle meneviä jospääätöksiä voitaisiin tehdä vasta kokemusperäisten tutkimusten perusteella.

Aiemmin tässä työssä esille otettu tuulen vaikutus laitteen toimivuuteen saattaa muodostua ongelmaksi useammallakin tavalla. ASHRAEn ohjeistuksessa mainittu tuulen vaikutuksesta julkisivuun liimautuva ulospuhallusilma saattaa kulkeutua rakennuksen muiden asuntojen ilmanottolaitteisiin ja näin heikentää asuntojen ilmanlaatua tai aiheuttaa niihin hajuja. Toinen mahdollinen tuulen aiheuttama ongelma saattaa olla se, että suoraan laitetta vasten puhaltava tuuli aiheuttaa ulospuhallukselle voimakkaan vastapaineen ja näin vähentää laitteesta ulos puhallettavan ilman määrää.

Tämä aiheuttaisi sen, että asunnon painesuhde kääntyy voimakkaasti ylipaineiseksi, mitä ei saisi tapahtua. Tätä ilmiötä saattaa entisestään voimistaa se, että samaan aikaan suoraan raitisilmalaitteeseen puhaltava tuuli lisää asunnon tuloilman määrää.

Oona Sormunen on tutkinut seinäpuhalluslaitteiden toimivuutta vuonna 2021 valmistuneessa opinnäytetyössään Asuinhuoneiston seinäpuhalluksen tarkastelu ja ilmanvaihdon oppimisympäristön suunnittelu. Sormusen työssä on tutkittu kahta seinäpuhallukseen tarkoitettua päätelaitetta tuulettomissa oloissa sekä olosuhteessa, jossa päätelaitteeseen kohdistuu vastatuuli. Opinnäytetyössä saatujen mittaustulosten perusteella voidaan päätellä, että päätelaitteet toimivat tuulettomissa olosuhteissa hyvin, mutta suorassa vastatuulella jäteilmän ilmavirtaus alkaa kääntyä takaisin päin jo alle metrin päässä laitteesta. Kyseisen opinnäytetyön vastatuulimittaukset on tehty vain suoraan laitteeseen kohdistuvalla vastatuulella. Vastatuulen nopeus mittaustilanteessa oli alle 2 m/s. Savun avulla tehdyn kokeen visuaalisen tarkastelun perusteella huomattava osa jäteilmasta palaa raitisilmalaitteen läheisyyteen, mikäli laitteet sijaitsevat lähellä toisiaan. (Sormunen 2021, 44, 46, 47.) Tämä tieto on vahvasti ristiriidassa rakentamisen suuntauksen kanssa, jossa valloillaan on yhdistelmälaitteiden käyttö. Kyseisissä laitteissa raitis- ja jäteilma-aukot sijaitsevat toistensa välittömässä läheisyydessä.

Tässä työssä on aiemmin esitelty muutamia markkinoilla olevia ulospuhallukseen tarkoitettuja seinälaitteita. Laitteet ovat ulkoseinästä ulkonevia ja puhallettaessa laitteen läpi kosteaa huoneilmaa talviolosuhteissa saattaisi laitteen ulommaiseen reunaan alkaa muodostua jääpuikkoja. Pahimmillaan jääpuikot voisivat olla turvallisuusriski etenkin hyvin korkeissa rakennuksissa, joissa putoava jääpuikko saavuttaisi kovan nopeuden pudotessaan ylimmistä kerroksista. Suurten jääpuikkojen muodostuminen vaatii oikeanlaiset olosuhteet riittävän pitkään, mutta on täysin mahdollista.

Yksi mahdollinen ongelma seinäpuhalluksessa voi olla laitteiden aiheuttama ääniongelma. Kun sekä raitisilma otetaan sisään että jäteilma puhalletaan ulos seinästä, molemmat toiminnot aiheuttavat ääntä. Suurella julkisivupinnalla saattaa olla esimerkiksi 30 kappaletta yhdistelmälaitteita, joista jokainen aiheuttaa ääntä. Laitteiden äänitasot nousevat, kun asuntojen ilmanvaihtoa tehostetaan. Jos useissa asunnoissa on yhtä aikaa tehostustoiminto käytössä, julkisivulle laitteista aiheutuva äänitaso kohoaa useissa pisteissä. Tämä saattaa muodostaa paikallisesti ääniolosuhteet, joissa esimerkiksi parvekkeella voisi olla epämiellyttävää oleskella tai pidettäessä ikkunaa tai parvekeovea auki ääni kantautuisi asunnon sisälle.

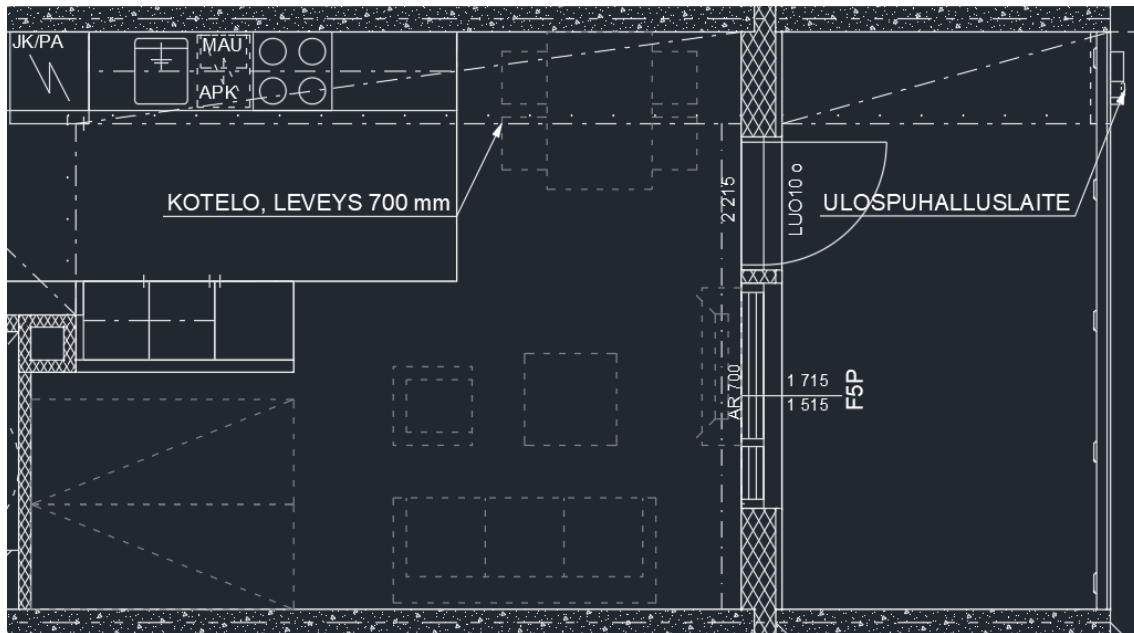
3 VAIKUTUKSET RAKENNUKSEN SUUNNITTELUUN

Vaikka seinäpuhalluslaitteet ovat ilmanvaihtoteknisiä laitteita, ne vaikuttavat ilmanvaihtosuunnittelun lisäksi myös muiden suunnittelualojen työhön. Seinäpuhallusratkaisu aiheuttaa ratkaistavia asioita ainakin arkkitehti- ja rakennesuunnitteluun. Seinäpuhallus ei varsinaisesti muuta suunnittelu-työn luonnetta, vaan se on yksi ratkaistava asia muiden joukossa.

3.1 Vaikutukset rakennuksen arkkitehtuuriin

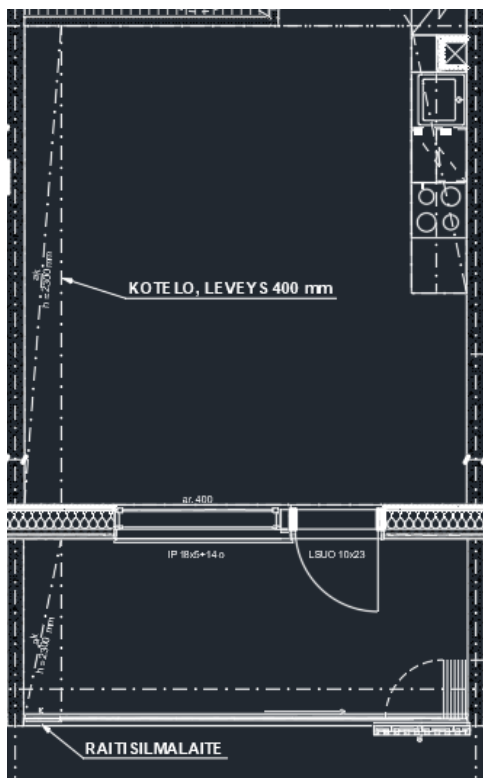
Seinäpuhallusratkaisun näkyvin vaikutus rakennuksessa aiheutuu julkisivuun. Puhallettaessa jäteilma katolle asuntojen ulkoseiniin tarvitaan vain raitisilmäsäleikkö, joka on suhteellisen huomaamaton suurella seinäpinnalla. Huomaamattomuus johtuu osittain siitä, että laitteen ulkopinta tulee seinäpinnan kanssa samalle tasolle. Seinäpuhalluslaitteet taas ovat lähes poikkeuksetta seinäpinnasta ulkonevia. Lisäksi yhdistetyissä jäte- ja raitisilmalaitteissa samaan laitteeseen täytyy liittää kaksi kanavaa. Tämä saa aikaan sen, että laitteen täytyy olla myös kohtuullisen leveä. Laitteet ovat siis sekä sivusuunnasta että edestäpäin tarkasteltuna julkisivussa varsin näkyviä elementtejä, jotka täytyy huomioida arkkitehtisuunnittelussa aikaisessa vaiheessa.

Asuntojen sisällä seinäpuhallusratkaisu aiheuttaa monissa tapauksissa vaakakanavien suurempaa koteloimistarvetta jäteilmakanavan ulkoseinälle viemisen takia. Kyseistä koteloimistarvetta on havainnollistettu kuvalla 11. Kuvassa näkyy, että sekä jäte- että raitisilmakanavan vaatima kotelo vaatii leveys suunnassa 700 mm tilaa.



KUVA 11. Pohjapiirros asunnosta, jossa seinäpuhalluslaite. Päätelaitte on äärimmäisenä oikealla. Kanavakotelon leveys huonetilassa on 700 mm.

Jäteilmakanavan kotelotarpeeseen aiheuttamaa vaikutusta voidaan pitää suhteellisen pienenä, koska yleensä se tarkoittaa vain lisää leveyttä koteloon, jossa joka tapauksessa kulkisi raitisilmakanava. Pelkän raitisilmakanavan tarvitsema kotelokoko on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Pohjapiirros asunnosta, jossa vain raitisilmalaite. Päätelaitte on äärimmäisenä alhaalla. Kanavakotelon leveys huonetilassa on 400 mm.

Jäteilman katolle puhaltamisessa tarvittavien pystykanavien roilojen tarpeellisuuden poistumista voidaan pitää merkittävänä asiana. Se saa aikaan sen, että kaikki päällekkäiset asunnot voidaan suunnitella täsmälleen samalla pohjaratkaisulla, mikä selkeyttää suunnittelua. Samalla poistuu asuntojen myynnin kannalta hieman kiusallinen ongelma, jossa neliöhinnaltaan arvokkaimmista ylimpien kerrosten asunnoista roilojen takia vähenee myytävää pinta-alaa enemmän kuin alimpien kerrosten asunnoista. Seinäpuhallus antaa mahdollisuuden vakioida asuntojen pohjaratkaisuja, mikä taas saattaisi johtaa siihen, että asuntojen pohjaratkaisujen vaihtelevuus vähenisi. Asuntojakauman yksipuolistuminen on herättänyt valtakunnallista keskustelua. Yksipuolistumisen pelätään vaikuttavan negatiivisesti elämänlaatuun, asumisviihtyvyyteen, asukkaiden pysyvyyteen ja suuressa mittakaavassa alueiden viihtyvyyteen.

Tätä työtä varten arkkitehtisuunnitteluun liittyvissä asioissa asiantuntijana on haastateltu arkkitehti Jukka Nupposta. Nupposen mielestä jäteilman seinäpuhallusratkaisu on asuntopohjan suunnittelun kannalta parempi vaihtoehto.

”Pohjat selkiytyvät, kun asunnot saadaan identtisiksi ja roilojen tarve vähenee. 16-kerroksisessa rakennuksessa kaikkien päällekkäisten asuntojen jäteilmakanavia ei voitaisi koota samaan roiloon, vaan ne täytyisi parhaassakin tapauksessa jakaa vähintään kahteen eri ryhmään. Ongelmallisinta arkkitehtisuunnittelun kannalta on tiukalta tuntuvien määräysten täytyminen julkisivun suunnittelun suhteen. Molemmissa ulospuhallusvaihtoehdoissa on etunsa, mutta kaikki asiat huomioon ottaen, seinäpuhallus on arkkitehtisuunnittelun näkökulmasta mieluisampi vaihtoehto.” (Nupponen 2020.)

Asuntopohjan suunnittelu siis helpottuu seinäpuhallusratkaisun ansiosta, mutta julkisivujen suunnitteluun se asettaa lisähaasteita. Nupposen mukaan jäteilman ulospuhallusratkaisulla ei ole vaikutusta arkkitehtisuunnittelun kustannuksiin.

3.2 Vaikutukset rakennuksen rakennustekniikkaan

Seinäpuhallus vähentää merkittävästi sellaisen rakennustyön määrää, jonka voidaan katsoa aiheuttuvan pelkästään jäteilmaratkaisusta. Jäteilman pystykanavien roilojen rakentaminen sekä vesikatolle rakennettavat jäteilmapiiput ja läpiviennit jäävät pois. Rakentamisen määrä vähenee sekä rakennuksen sisällä että vesikatolla. Erityisesti vesikaton rakentaminen yksinkertaistuu ja nopeutuu. Pienempien läpivientimäärien takia vesikaton vuotoriski pienenee. Toisaalta läpivientejä joudutaan tekemään runsaasti enemmän ulkoseiniin ja erityisesti yhdistelmälaitteisiin yhdistettävien kahden vierekkäisen kanavan yhteisen läpiviennin tiivistäminen koetaan hankalaksi toteuttaa.

Vesikatolle vietävien jäteilmakanavien jäädessä pois helpottuvat rakenteelliset ratkaisut. Esimerkiksi 16-kerroksisessa rakennuksessa jouduttaisiin yhden asunnon kohdalle tekemään jäteilmakanavia varten välipohjaan lähes neliömetrin verran aukkoa. Kyseisen kokoista aukkoa tai vaihtoehtoisesti useita pienempiä aukkoja ei voisi sijoittaa välipohjaan kovin vapaasti. Tämä aiheuttaisi huomattavia rajoitteita asuntojen pohjaratkaisun suunnitteluun. Seinäpuhalluslaitteiden sijoittelukaan ei onnistu ihan mihin tahansa. Niiden sijoittelulle yleensä reunaehtoja aiheutuu julkisivun muusta aukotuksesta eli lähinnä ikkunoista ja parvekeovista.

Tätä työtä varten rakennesuunnitteluun liittyvissä asioissa asiantuntijana on haastateltu rakennesuunnittelija Pekka Juntusta. Juntusen mukaan jäteilman ulospuhallusratkaisulla ei ole vaikutusta rakennesuunnittelun suunnittelukustannuksiin, eikä se myöskään edellytä erityisiä rakenneratkaisuja.

”Käytännössä jäteilman ulospuhallustapa ei aiheuta rakenteellisia ratkaisuja, jotka vaikuttaisivat rakennesuunnittelun kustannuksiin. Haasteet ratkotaan ulkovaipan ja välipohjien aukotusten suunnittelun yhteydessä”. (Juntunen 2020.)

4 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS

Ilmanvaihtopuhaltimen sähkönkulutus on riippuvainen paineesta, jonka puhallin tuottaa. Seinäpuhallusratkaisussa jäteilmakanavien pituus on lyhyempi kuin puhallettaessa jäteilma vesikatolle. Ero muodostuu sitä suuremmaksi, mitä korkeammasta rakennuksesta on kyse. Lyhyempi jäteilmakanavan pituus merkitsee, että ilmanvaihtokoneen poistoilmapuhaltimelta vaadittava paineentuotto on pienempi ja sitä kautta myös vaadittava sähköteho pienenee. Puhaltimien vaatima sähköteho eri paineentuotoilla vaihtelee puhaltimien yksilöllisten ominaisuuksien mukaan.

4.1 Kanaviston painehäviö laskentatapauksessa

Taulukossa 2 on esitetty, kuinka suuret paineentuotot ja sähkötehot tyypillisen kerrostaloasunnon ilmanvaihtokoneelta vaaditaan jäteilman seinäpuhallusratkaisulla tai vesikatolle puhallusratkaisulla. Esimerkkiasunnoksi on valittu pinta-alaltaan 49 m²:n suuruinen saunallinen kaksio. Ilmanvaihtomääräksi asuntoon on määritetty 33 l/s. Laskelmissa käytettäväksi ilmanvaihtokoneeksi on valittu Ilox 89 Plus -kone. Paineentuoton tarpeet kanavistolle on laskettu Magicad-suunnitteluohjelmalla. Ilmanvaihtokoneen sähkötehotarpeet on määritetty Fläkt Group Oy:n Ilox-koneiden laskentaohjelmalla. Sähkötehotarpeen vertailussa on käytetty vain poistoilmapuhaltimen tarvitsemää sähköä. Poistoilmakanaviston painehäviö on jokaisessa tapauksessa oletettu samaksi. Tuloilmapuhaltimen paineentuoton tarve on jokaisessa tapauksessa oletettu samaksi ja siksi sitä ei huomioida laskelmissa ollenkaan.

Taulukossa 2 on esitetty seinäpuhallusratkaisun poisto- ja jäteilmakanavan painehäviö, poistoilmapuhaltimen sähkötehotarve ja puhaltimen vuosittainen sähköenergian kulutus. Laskelmissa on oletettu, että puhaltimet käyvät vakionopeudella läpi vuoden.

TAULUKKO 2. Kanavapainehäviöt ja poistoilmapuhaltimen sähköntarve seinäpuhalluksessa.

Painehäviö/poisto- ja jäteilmakanava, Pa	Poistoilmapuhaltimen sähköteho, W	Poistoilmapuhaltimen energiankulutus, kWh/vuosi
55	37	324

Vesikatolle puhalluksen painehäviölaskelmissa on lähtöolettamuksena käytetty tilannetta, jossa jäteilmakanavan vaakaosaa on asunnossa 3 metriä ja ullakkotilassa 5 metriä. Pystykanavan korkeutena on käytetty 3 metriä jokaista noustua kerrosväliä kohden. Kanavien mutkia ei ole laskettu erikseen, vaan niiden lukumäärän on oletettu olevan ratkaisusta riippumatta samat, ja painehäviöerojen on oletettu muodostuvan yksinomaan kanavapituuksien eroista.

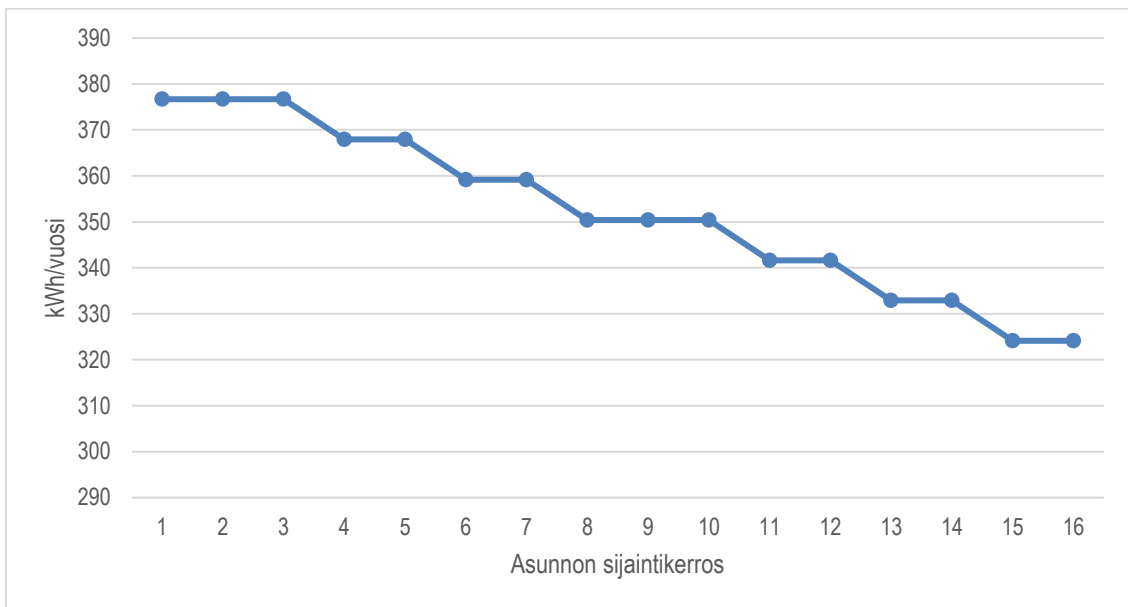
Taulukossa 3 on esitetty 16-kerroksisen rakennuksen katolle puhalluksen poisto- ja jäteilmakanavan painehäviö, poistoilmapuhaltimen sähköteho ja puhaltimen vuosittainen sähköenergian kulutus. Laskelmissa on oletettu, että puhaltimet käyvät vakionopeudella läpi vuoden.

TAULUKKO 3. Kanavapainehäviöt ja poistoilmapuhaltimen sähköntarve vesikatolle puhalluksessa, 16-kerroksinen rakennus.

Asunnon korkeus- asema	Painehäviö/poisto- jäteilmakanava, Pa	ja Poistoilmapuhaltimen sähköteho, W	Poistoilmapuhaltimen energiankulutus, kWh/vuosi
1. kerros	101	43	377
2. kerros	98	43	377
3. kerros	95	43	377
4. kerros	92	42	368
5. kerros	89	42	368
6. kerros	86	41	359
7. kerros	83	41	359
8. kerros	80	40	350
9. kerros	77	40	350
10. kerros	74	40	350
11. kerros	71	39	342
12. kerros	68	39	342
13. kerros	65	38	333
14. kerros	62	38	333
15. kerros	59	37	324
16. kerros	56	37	324

Taulukoiden 2 ja 3 arvoista huomataan, että yksittäisen asunnon poistopuhaltimen energiankulutuksessa ei ole merkittäviä eroja, riippumatta siitä, puhalletaanko jäteilma ulkoseinän vai vesikatolta. Prosentuaalisesti ero seinäpuhallusratkaisun ja 16-kerroksisen rakennuksen alimman kerroksen asunnon poistoilmapuhaltimen sähkönkulutuksessa on kuitenkin noin 16 %. Keskimäärin 16-kerroksisen rakennuksen asuntojen jäteilman katolle puhallus kuluttaa noin 9 % enemmän poistoilmapuhaltimen sähköenergiaa kuin seinäpuhalluksessa.

Poistoilmapuhaltimen vuosittaista energiankulutusta 16-kerroksisessa rakennuksessa vesikatolle puhalluksessa on havainnollistettu kuvalla 13. Kuvasta nähdään, että poistoilmapuhaltimen energiankulutuksen suhteen eri kerroksissa sijaitsevat asunnot ovat eriarvoisessa asemassa. Alimpien kerrosten asunnot ovat tavallaan pakotettuja kuluttamaan energiaa enemmän kuin ylempien kerrosten asunnot. Seinäpuhalluksessa tätä ongelmaa ei ole.



KUVA 13. Poistoilmapuhaltimen energiankulutus asunnon sijaintikerroksen mukaan 16-kerroksisessa rakennuksessa

Taulukon 3 arvoja voidaan soveltaa suoraan eri korkuisiin rakennuksiin käyttämällä ylimpien kerrosten arvoja. Esimerkiksi 8-kerroksiseen rakennukseen voidaan soveltaa kahdeksan ylimmän ja 4-kerroksiseen rakennukseen neljän ylimmän kerroksen arvoja. Taulukon arvoja näin soveltaen saadaan tulokseksi, että 8-kerroksisessa rakennuksessa jäteilmän katolle puhalluksessa poistoilmapuhallin kuluttaa alimman kerroksen asunnossa noin 8 % enemmän sähköenergiaa kuin seinäpuhalluksessa. Keskimäärin 8-kerroksisen rakennuksen asuntojen jäteilmän katolle puhallus kuluttaa n. 4 % enemmän poistoilmapuhaltimen sähköenergiaa kuin seinäpuhalluksessa. Eroa ei mielestäni voida pitää kovin merkittävänä.

Rakennusten energiankulutukseen kiinnitetään jatkuvasti enemmän huomiota. Kahden viimeisen vuosikymmenen aikana on erityisesti ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuudessa otettu suuria edistysaskelia. Tämä tarkoittaa, että tulevaisuudessa energiatehokkuutta on hankala parantaa enää kovin merkittävästi. Näin ollen voisi olettaa, että tulevaisuudessa kaikki energiatehokkuutta

parantavat pienetkin toimenpiteet tullaan ottamaan vakavasti. Seinäpuhallusratkaisu vaikuttaisi olevan ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutuksen suhteen ulospuhallusratkaisuista paras ja tulee tästä syystä olemaan etenkin korkeissa rakennuksissa varteenotettavin vaihtoehto. Tulevaisuudessa myös rakennusten hiilijalanjäljen laskenta tulee olemaan suuressa roolissa. Vielä ei tiedetä, kuinka suuri painoarvo eri tekijöillä laskennassa tulee olemaan, mutta todennäköistä on, että pienemmilläkin energiansäästömahdollisuuksilla tulee olemaan merkitystä.

4.2 Puhaltimien kuluttaman sähköenergian kustannukset

Ilmanvaihtokoneen puhaltimet kuluttavat sähköenergiaa. Näin ollen sähköenergian maksava taho maksaa myös ilmanvaihdon kuluttaman sähkön. Yleensä etenkin omistusasuntojen ollessa kyseessä huoneistokohtaisen ilmanvaihdon sähkö tulee huoneiston ryhmäkeskuksen kautta ja näin ollen huoneiston ilmanvaihdon sähkö maksetaan sähkölaskun yhteydessä. Asukkaan sähkölaskun suuruuden kannalta saattaa olla siis merkityksellistä, missä kerroksessa huoneisto on silloin, kun jäteilma puhalletaan vesikatolle.

Ilmanvaihtopuhaltimen sähköenergian kulutuksen perusteella maksettava maksu lasketaan kaavalla 3,

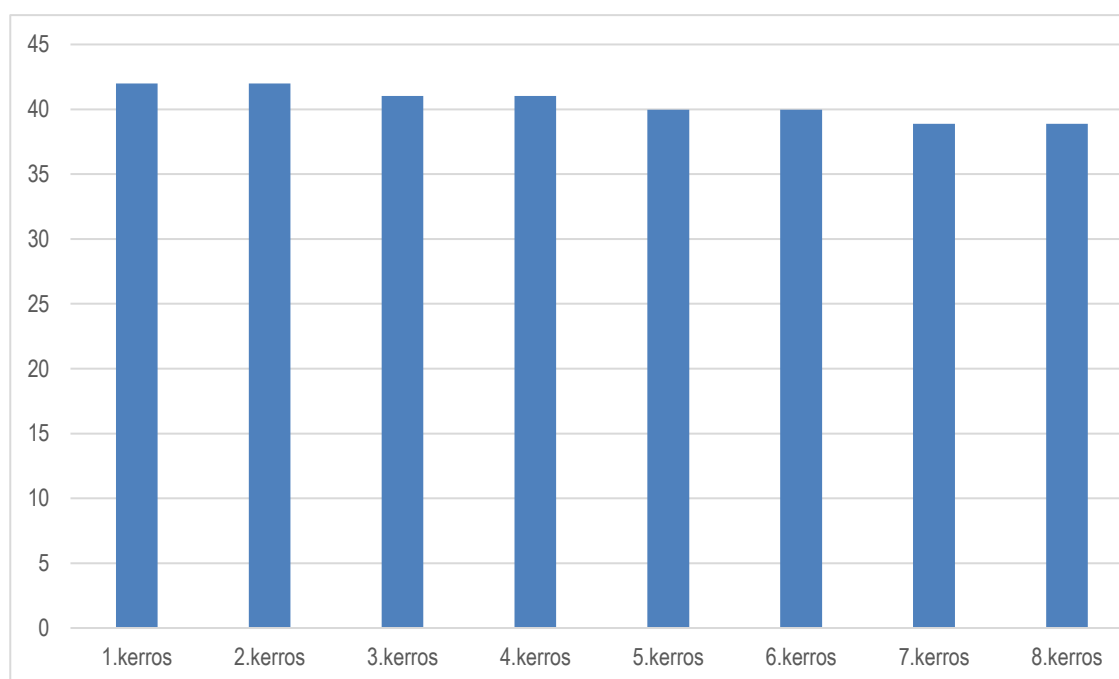
$$\text{€} = \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * \text{kWh} \quad (3)$$

jossa € on maksun suuruus euromääräisenä, €/kWh on sähköenergian hinta ja kWh on puhaltimen kuluttama sähköenergia. Laskelmissa sähköenergian hinnaksi on oletettu 0,12 €/kWh.

Taulukossa 3 esitetyillä poistopuhaltimien sähkönkulutusten perusteella voidaan laskea eri kerroksissa sijaitsevien asuntojen poistoilmapuhaltimen sähköön vuosittain kuluva rahasumma. Taulukossa 4 on esitetty 8-kerroksisen rakennuksen eri kerroksissa sijaitsevien asuntojen poistoilmapuhaltimien vuosittaiset sähkömaksut vesikatolle puhalluksessa. Taulukon arvoja on havainnollistettu kuvassa 14. Kaaviosta voidaan lukea eri kerrosten välisten erojen olevan varsin pienet.

TAULUKKO 4. Poistoilmapuhaltimen sähkömaksu vesikatolle puhalluksessa, 8-kerroksinen rakennus.

Asunnon korkeusasema	Poistoilmapuhaltimen sähkömaksu, €/vuosi
1.kerros	42
2.kerros	42
3.kerros	41,04
4.kerros	41,04
5.kerros	39,96
6.kerros	39,96
7.kerros	38,88
8.kerros	38,88
Keskiarvo	40,47



KUVA 14. Poistoilmapuhaltimen sähkömaksun jakautuminen eri kerroksiin

Taulukossa 4 esitettyjen sähkömaksujen perusteella voidaan laskea asuntojen ilmanvaihtoon kuluvan sähkömaksun suuruus koko rakennukselle. Laskelmassa käytetään oletuksena, että jokaisessa kerroksessa on seitsemän asuntoa, jolloin 8-kerroksisessa rakennuksessa on

yhteensä 56 asuntoa. Laskelmassa tuloilmapuhaltimien asuntokohtaisesti käyttämä sähkö on oletettu samaksi kuin poistoilmapuhaltimen käyttämä sähkö rakennuksen alimmassa kerroksessa eli 324 kWh/vuosi. Laskelman tulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ilmanvaihdon sähkömaksu vesikatolle puhalluksessa, 8-kerroksinen rakennus.

Asuntojen asema	korkeus-	Ilmanvaihdon energiankulu-	Ilmanvaihdon sähkömaksu,
	tus, kWh/vuosi		€/vuosi
1.kerros	4900		566,16
2.kerros	4900		566,16
3.kerros	4788		559,44
4.kerros	4788		559,44
5.kerros	4662		551,88
6.kerros	4662		551,88
7.kerros	4536		544,32
8.kerros	4536		544,32
Yhteensä	37772		4423,60

Seinäpuhalluksessa samankokoisen rakennuksen asuntojen ilmanvaihdon sähkömaksu olisi 4354,56 €/vuosi. Erotukseksi katolle puhalluksen ja seinäpuhalluksen välille muodostuu 69,04 €/vuosi. Tämä tarkoittaa, että vesikatolle puhalluksessa ilmanvaihdon sähkömaksua maksettaisiin keskimäärin noin 1,6 % enemmän kuin seinäpuhalluksessa silloin, kun kyseessä on 8-kerroksinen rakennus. Seinäpuhalluksesta on siis rakennuksen käyttäjille taloudellista etua, vaikkakin se vaikuttaisi muodostuvan hyvin pieneksi.

5 ULOSPUHALLUSRATKAISUN VAIKUTUKSET RAKENNUSHANKKEEN KUSTANNUKSIIN

Jäteilman ulospuhallusratkaisulla on vaikutusta useisiin rakennushankkeen osa-alueisiin. Yksi merkittävä osa-alue, johon ratkaisu vaikuttaa, on hankkeen kustannukset. Kustannusvaikutukset kohdistuvat suunnitteluun, LVI-tekniikkaan ja rakennustekniikkaan. Riippuen ulospuhallusratkaisusta tietyt suunnittelu- ja toteutusratkaisut täytyy tehdä eri tavalla. Näitä ns. muuttuvia kustannuksia on käsitelty kohdissa 5.1–5.4. Kaikki kustannukset on ilmoitettu arvonlisäverottomina. Laskelmissa on käytetty esimerkiasuntona pinta-alaltaan 49 m²:n suuruista saunallista kaksiota.

5.1 Suunnitteluvaiheen kustannukset

Suunnitteluvaiheessa ulospuhallusratkaisulla ei vaikuttaisi olevan vaikutusta arkkitehti-, rakennetai LVI-suunnittelun kustannuksiin. Ratkaisulla ei katsota olevan suunnittelun kannalta niin suurta painoarvoa, että se huomioitaisiin erikseen suunnittelun kustannuksissa. Hyvin yleistä myös on, että ulospuhallusratkaisua ei edes tiedetä silloin, kun hankkeen suunnittelu käynnistyy.

Suunnitteluvaiheen kustannukseksi voidaan lukea seinäpuhalluslaitteiden virtaussimulointi. Virtaussimulointi täytyy tehdä käytännössä aina, kun ulospuhalluslaitteiden sijoittelu ei täytä niille asetettuja vähimmäisvaatimuksia. Käytännössä laitteita ei pystytä ikinä sijoittamaan siten, että kaikki vähimmäisvaatimukset täytyisivät, ja näin ollen seinäpuhallusratkaisussa simuloinnin kustannukset tulee lähes aina huomioida. Simulointikustannukset eri kokoisissa rakennuksissa on esitetty taulukossa 6. Simulointikustannusten osalta tulee huomioida, että kustannus syntyy vain seinäpuhallusratkaisussa. Kustannustieto on suuntaa antavaa ja tarkat todelliset kustannukset vaihtelevat hankekohtaisesti. Kustannustiedot on saatu alan toimijoilta kentältä vuonna 2020.

TAULUKKO 6. Seinäpuhalluslaitteiden virtaussimuloinnin kustannukset.

Rakennuksen kerrosluku	Rakennuksen asuntojen määrä	Simuloinnin kustannus, €
4	32	7 500
8	64	10 000
16	128	15 000

5.2 LVI-tekniikan kustannukset

LVI-tekniikan muuttuvat kustannukset muodostuvat seinäpuhallusratkaisussa siitä, että jäteilmakanava viedään ulkoseinälle ja ulkoseinään asennetaan päätelaitteeksi yhdistelmälaite, johon liitetään jäteilmakanavan lisäksi myös raitisilmakanava. Seinäpuhalluksen muuttuvia kustannuksia on verrattu kattopuhallusratkaisuun, jossa jäteilmakanava viedään vesikatolle ja raitisilmakanavaan asennetaan raitisilmasäleikkö. Muuttuvien kustannusten suuruusluokkien suhdetta toisiinsa on kuvaavaa vertailla kertoimilla. Seinäpuhallusratkaisun kustannukset vaikuttaisivat olevan ulospuhallusratkaisuista alhaisimmat. Näin ollen sen kerroin on 1 ja muiden vaihtoehtojen muuttuvien kustannusten suuruutta verrataan siihen. Taulukossa 7 on esitetty LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten kertoimet eri kokoisissa rakennuksissa. Kustannustiedot on saatu alan toimijoilta kentältä vuonna 2020.

TAULUKKO 7. LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhde toisiinsa.

Ulospuhallusratkaisu	LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhdeluku
Seinäpuhallus	1
Katolle puhallus, 4-kerroksinen rakennus	1,33
Katolle puhallus, 8-kerroksinen rakennus	1,64
Katolle puhallus, 16-kerroksinen rakennus	2,45

Suuret erot eri ulospuhallusratkaisujen kustannusten suhdeluvuissa selittyvät sillä, että muuttuvat kustannukset koostuvat vain muutamasta tekijästä. Rakennuksen korkeudesta riippuvan jäteilman pystykanavan pituuden kasvaessa katolle puhalluksen kustannukset nousevat tasaisesti jokaisen

lisäkerroksen myötä. Toisin sanoen ilmanvaihtokanaviston rakentamisen keskimääräinen hinta on suoraan riippuvainen rakennuksen kerrosluvusta.

5.3 Rakennustekniikan kustannukset

Rakennustekniikan muuttuvat kustannukset muodostuvat seinäpuhallusratkaisussa siitä, että jäteilmakanavan vieminen ulkoseinälle aiheuttaa asunnon sisälle leveämmän vaakakotelon kuin katolle puhalluksessa. Katolle puhalluksessa täytyy rakentaa jäteilmakanaville pystyroilot sekä vesikatolle jäteilmakanavien kokoojapiippu tai asentaa erilliset ulospuhallushajottajat. Laskelmissa on oletettu, että jäteilman ulospuhallusta varten rakennetaan kokoojapiippu, koska se on muodostunut vaihtoehtoista yleisemmäksi ratkaisuksi. Kustannustekijöitä on verrattu kertoimella siten, että seinäpuhallusratkaisun muuttuvien kustannusten kerroin on 1 ja kattopuhallusratkaisun kustannuksia verrataan siihen. Kerroin kuvaa muuttuvien kustannusten suhdetta toisiinsa. Taulukossa 8 on esitetty rakennustekniikan muuttuvien kustannusten kertoimet eri kokoisissa rakennuksissa. Kustannustiedot on saatu kentältä vuonna 2020.

TAULUKKO 8. Rakennustekniikan muuttuvien kustannusten suhde toisiinsa.

Ulospuhallusratkaisu	LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhdeluku
Seinäpuhallus	1
Katolle puhallus, 4-kerroksinen rakennus	2,05
Katolle puhallus, 8-kerroksinen rakennus	2,33
Katolle puhallus, 16-kerroksinen rakennus	2,96

Suuret erot eri ulospuhallusratkaisujen kustannusten suhdeluvuissa selittyvät sillä, että muuttuvat kustannukset koostuvat vain muutamasta tekijästä. Rakennuksen korkeudesta riippuvan jäteilmakanavien roilojen määrän kasvaessa katolle puhalluksen kustannukset nousevat tasaisesti jokaisen lisäkerroksen myötä. 16-kerroksisessa rakennuksessa tähän tulee kuitenkin poikkeus, koska kerrosmäärän takia ei voida olettaa, että kaikkien kerrosten jäteilmakanavat saataisiin mahtumaan yhteen pystyroiloon, vaan 8. kerroksesta ylöspäin täytyy rakentaa toinen roilo. Tämä tarkoittaa, että 8. kerroksen kohdalla rakennuskustannukset nousevat kertaluonteisesti enemmän kuin muiden kerrosten kohdalla. Tämä johtuu siitä, että uuden roilon rakentamisen aloittaminen on kalliimpaa kuin alemmasta kerroksesta nousevan roilon laajentaminen.

5.4 Kustannustekijöiden kokonaisvaikutus

Jotta ulospuhallusvaihtoehtojen kustannukset olisivat järkevästi vertailtavissa kokonaisuutena, tulee niiden väliset kustannuskertoimet laskea kokonaiskertoimina. Taulukoissa 9-11 on esitetty muuttuvien kustannusten kokonaiskertoimet eri kokoisissa rakennuksissa. Kertoimissa on huomioitu virtaussimuloinnin, LVI-tekniikan ja rakennustekniikan kustannukset. Kustannustekijöitä on verrattu kertoimella siten, että seinäpuhallusratkaisun muuttuvien kustannusten kerroin on 1 ja katotpuhallusratkaisun kustannuksia verrataan siihen. Kerroin kuvaa muuttuvien kustannusten suhdetta toisiinsa.

TAULUKKO 9. Muuttuvien kustannusten suhde toisiinsa 4-kerroksisessa rakennuksessa.

Ulospuhallusratkaisu	LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhdeluku
Seinäpuhallus	1
Katolle puhallus	1,04

Taulukossa 9 on esitetty seinäpuhalluksen muuttuvien kustannusten suhdeluku ja katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku 4-kerroksisessa rakennuksessa. Katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku on laskettu siten, että ensin on laskettu suhdeluku kerroksittain ja saaduista tuloksista on laskettu keskiarvo. Kerroksittainen suhdeluku on esitetty kaaviossa 3.

TAULUKKO 10. Muuttuvien kustannusten suhde toisiinsa 8-kerroksisessa rakennuksessa.

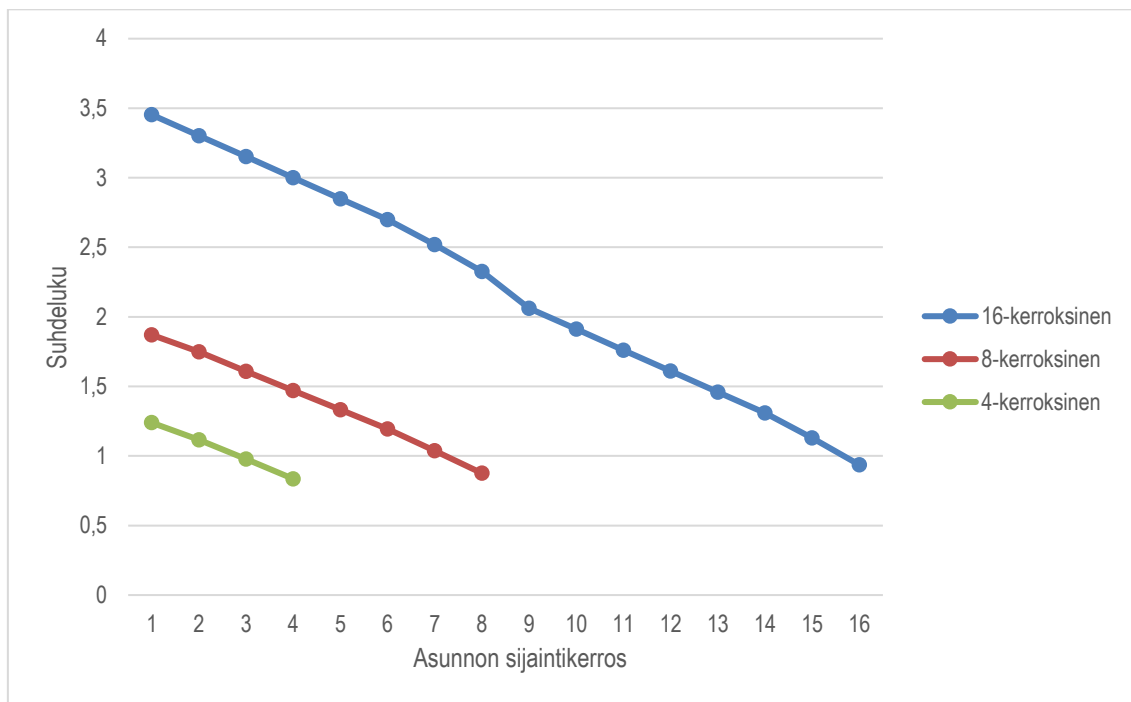
Ulospuhallusratkaisu	LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhdeluku
Seinäpuhallus	1
Katolle puhallus	1,39

Taulukossa 10 on esitetty seinäpuhalluksen muuttuvien kustannusten suhdeluku ja katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku 8-kerroksisessa rakennuksessa. Katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku on laskettu siten, että ensin on laskettu suhdeluku kerroksittain ja saaduista tuloksista on laskettu keskiarvo. Kerroksittainen suhdeluku on esitetty kaaviossa 3.

TAULUKKO 11. Muuttuvien kustannusten suhde toisiinsa 16-kerroksisessa rakennuksessa.

Ulospuhallusratkaisu	LVI-tekniikan muuttuvien kustannusten suhdeluku
Seinäpuhallus	1
Katolle puhallus	2,21

Taulukossa 11 on esitetty seinäpuhalluksen muuttuvien kustannusten suhdeluku ja katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku 16-kerroksisessa rakennuksessa. Katolle puhalluksen kustannusten keskimääräinen muuttuvien kustannusten suhdeluku on laskettu siten, että ensin on laskettu suhdeluku kerroksittain ja saaduista tuloksista on laskettu keskiarvo. Kerroksittainen suhdeluku on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Kustannusten suhdeluku asunnon sijaintikerroksen mukaan

Kuvassa 15 vaaka-akselilla on esitetty rakennuksen kerros, jossa asunto sijaitsee, ja pystyakselilla kerrosta vastaava muuttuvien kustannusten suhdeluku. Suhdeluku on laskettu vertaamalla katolle puhalluksen kerroksen mukaan määräytyvää kustannusta seinäpuhalluksen kustannukseen.

Taulukosta 9 ja kuvasta 15 voidaan päätellä, että 4-kerroksisessa rakennuksessa ei ole perusteltua käyttää seinäpuhallusta pelkästään kustannussyistä. Kuvasta 15 nähdään, että kustannuserot

kerrosten välillä ovat itse asiassa niin pienet, että oikeanlaisilla suunnitteluratkaisuilla vesikatolle puhallus saattaisi muodostua jopa edullisemmaksi ratkaisuksi.

8-kerroksisessa rakennuksessa seinäpuhallusratkaisun kustannussäästö on vesikatolle puhallukseen verrattuna merkittävä. Se todennäköisesti ratkaisee ulospuhallusratkaisun valinnan seinäpuhalluksen hyväksi, mikäli mikään muu tekijä ei nouse tätä merkittävämmäksi.

16-kerroksisessa rakennuksessa seinäpuhallusratkaisun kustannussäästö on vesikatolle puhallukseen verrattuna hyvin merkittävä. Se lähes varmasti ratkaisee ulospuhallusratkaisun valinnan seinäpuhalluksen hyväksi. On hyvin epätodennäköistä, että mikään muu tekijä nousisi tätä merkittävämmäksi. Näin ollen 16-kerroksinen rakennus voidaan olettaa rakennettavan käyttäen seinäpuhallusratkaisua.

16-kerroksisen rakennuksen käyrältä huomataan, että siirryttäessä 8. kerroksesta 9. kerrokseen käyrä hiukan jyrkkenee. Tämä johtuu laskentaolettamuksesta, että 8. kerroksesta ylöspäin joudutaan jäteilmakanavia varten rakentamaan toinen roilo. Toisen roilon rakentamisen aiheuttama kustannusten kerroskohtainen nousu on kyseisellä kerrosvälillä siis suurempaa, mutta siitä ylöspäin kustannukset nousevat jälleen tasaisesti.

Jos rakennus rakennettaisiin esimerkiksi 24-kerroksisena, jatkuisi kustannusten nousu ainakin teoriassa 16. kerroksesta ylöspäin samalla tavalla kuin kerrosväleillä 9–16. Voi kuitenkin olla, että kyseiseen korkeuteen rakentamisesta aiheutuisi lisäkustannuksia, joita ei tässä työssä erikseen tarkastella. Teknisesti ei olisi järkevää rakentaa 24-kerroksisen rakennuksen ilmanvaihdon ulospuhallusta vesikatolle jäteilmakanavien aiheuttamisen suurten painehäviöiden takia. Kyseenalaista on, olisiko se järkevää edes 16-kerroksisessa rakennuksessa. Mikäli rakennettaisiin korkeampi kuin 16-kerroksinen rakennus, teoreettista kustannusten nousua voitaisiin tarkastella regressiosuoran avulla. Regressiosuora saadaan määritettyä kaavalla 4 (Tekniikan kaavasto 2002, 89.).

$$y = kx + b \tag{4}$$

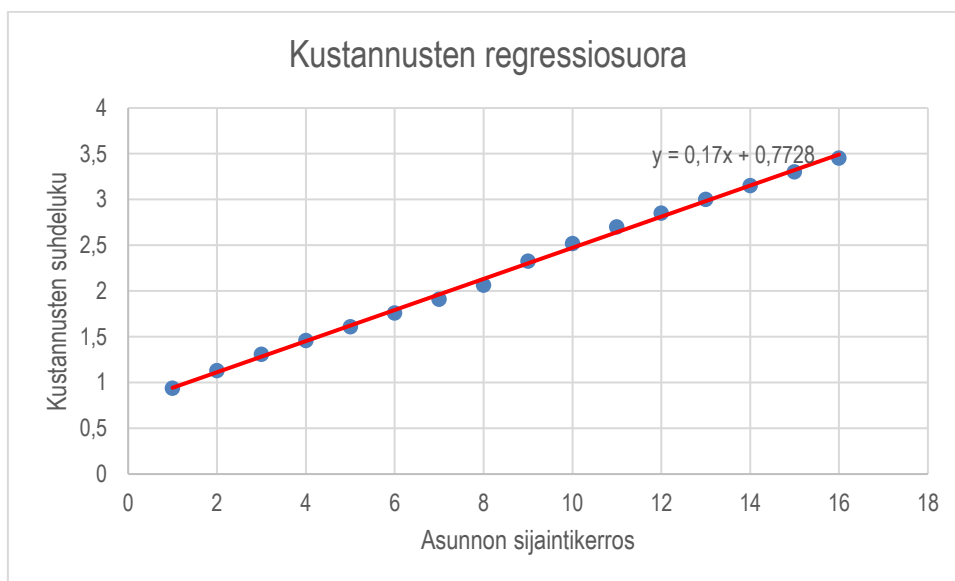
Yhtälössä parametri y kuvastaa kustannusten suhdelukua ja parametri x kerrosta, jossa asunto sijaitsee. Kaavassa 4 esiintyvä parametri k ratkaistaan kaavalla 5 (Tekniikan kaavasto 2002, 89).

$$k = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

ja parametri b kaavalla 9 (Tekniikan kaavasto 2002, 89).

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

Ratkaisemalla kaava 4 saadaan tulokseksi kuvassa 16 esitetty regressiosuora. Näin ollen suoran yhtälön avulla voidaan laskea, että esimerkiksi 24. kerroksessa kustannusten suhdeluku olisi 4,85.



KUVA 16. Kustannusten suhdeluku asunnon sijaintikerroksen mukaan

Henri Väkiparta on vuonna 2018 valmistuneessa opinnäytetyössään Yhdistetyn ulospuhallus- ja ilmanottolaitteen kustannusvaikutus kerrostalorakentamiseen tutkinut seinäpuhalluslaitteen kustannusvaikutuksia kerrostalon rakennushankkeeseen. Väkiparran opinnäytetyössä on päädytty samansuuntaiseen lopputulokseen seinäpuhalluksen kustannusvaikutuksista kuin tässäkin työssä. Väkiparran opinnäytetyön vertailulaskelmat on tehty 7-kerroksiselle kerrostalolle. Vertailtaessa seinäpuhallusta ja katolle puhallusta katolle puhallus on osoittautunut n. 10 % seinäpuhallusta kalliimmaksi kokonaiskustannuksiltaan (Väkiparta 2018, 23.) Tulos on hiukan eri suuruinen kuin tässä työssä laskettu kustannusero, mutta tukee tässä työssä saatua näkemystä siitä, että seinäpuhallus on kokonaiskustannuksiltaan edullisempi kuin katolle puhallus.

6 RAKENNUSLIIKKEIDEN NÄKEMYS SEINÄPUHALLUKSEEN

Kustannuslaskelmien tulosten kelpoisuuden arvioimiseksi rakennusliikkeille tehtiin kysely ulospuhallusratkaisun kustannusvaikutuksista. Lisäksi rakennusliikkeiltä kysyttiin seinäpuhalluslaitteiden vaikutuksista julkisivuun, ulospuhallusratkaisun vaikutuksesta hankkeen onnistumiseen sekä kannottoa siihen, kuinka vahvasti rakennusliikkeet ovat halunneet toteuttaa ulospuhalluksen seinäpuhalluslaitteilla. Vastauksia on käsitelty anonymisti.

Kysely lähetettiin kymmenelle rakennusliikkeelle. Rakennusliikkeiksi valikoitui Oulun alueella toimivia rakennusliikkeitä, joiden toiminta keskittyy pääasiassa kerrostalorakentamiseen. Vastaukset saatiin kuudelta rakennusliikkeeltä. Lisäksi seitsemäs rakennusliike vastasi, etteivät aio vastata kyselyyn, koska eivät ole arvioineet ulospuhallusvaihtoehtojen kustannuksia. Lisäksi kyseinen rakennusliike koki seinäpuhallusta ohjaavien ohjeistusten olevan niin tiukkoja, ettei heidän ole järkevää pitää sitä toteutusvaihtoehtona.

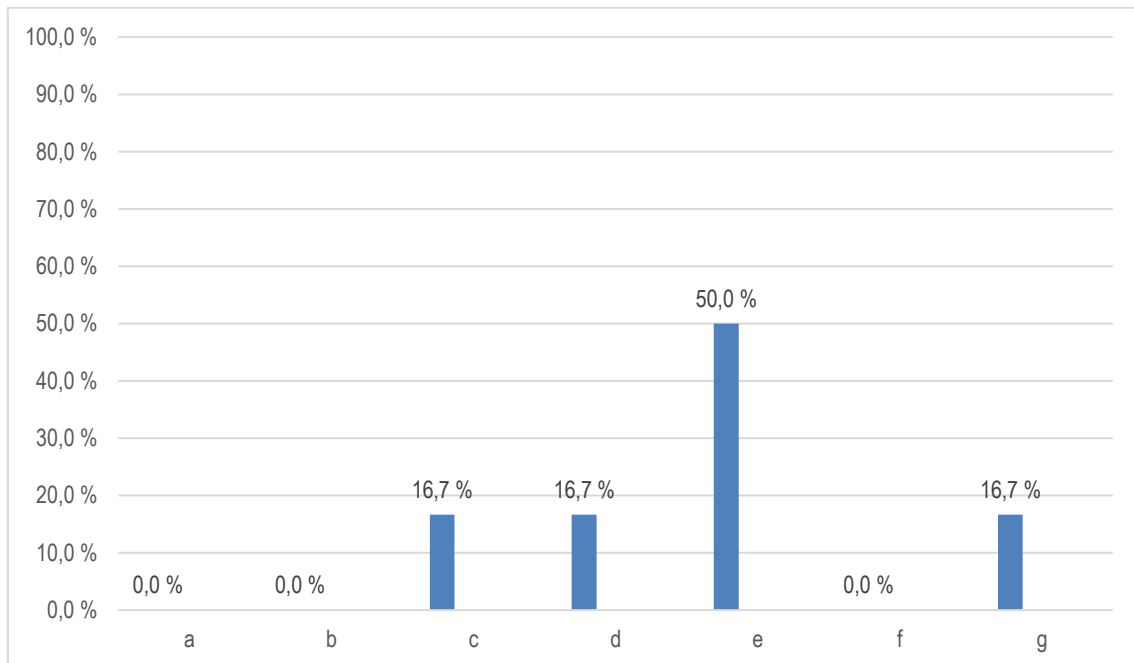
Kyselyn avulla selvitettiin rakennusliikkeiden näkemyksiä siitä, kuinka eri ulospuhallusratkaisujen kustannukset suhtautuvat toisiinsa 4-, 8- ja 16-kerroksisessa kerrostalossa. Samalla selvitettiin, ovatko rakennusliikkeet laatineet laskelmia jäteilmaratkaisujen aiheuttamista kustannuksista. Kysely tehtiin monivalintakysymyksinä, joissa eri kokoisten rakennusten ulospuhallusvaihtoehtojen kustannusten suuruusluokkia piti arvioida. Lisäksi piti vastata, perustuvatko vastaukset kustannuslaskentaan vai arvioon. Kyselylomake on esitetty liitteessä 2. Kustannuskyselyn vastausten jakautumiset on esitetty taulukoissa 12–14.

TAULUKKO 12. Rakennusliikkeiden vastaukset, 4-kerroksinen rakennus.

- a. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- b. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- c. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- d. Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- e. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- f. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- g. Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

1
1
3
1

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että rakennusliikkeiden vastaukset ovat hajaantuneet melko paljon. Vastauksissa painottuu vaihtoehto e eli rakennusliikkeet arvioivat katolle puhalluksen olevan seinäpuhallusta kalliimpaa. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 17.



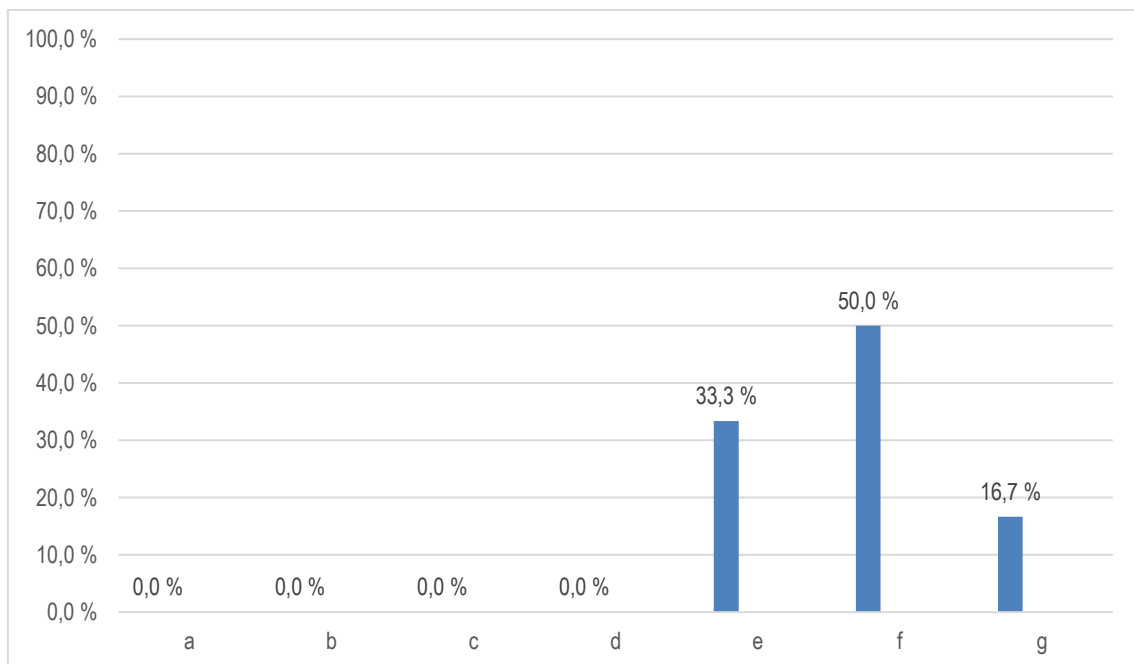
KUVA 17. Taulukon 12 vastausten jakautuminen

TAULUKKO 13. Rakennusliikkeiden vastaukset, 8-kerroksinen rakennus.

- a. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- b. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- c. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- d. Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- e. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- f. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- g. Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

2
3
1

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että rakennusliikkeiden vastaukset eivät ole hajaantuneet yhtä paljon kuin taulukossa 12. Vastauksissa painottuu vaihtoehto f eli rakennusliikkeet arvioivat katolle puhalluksen olevan seinäpuhallusta selkeästi kalliimpaa. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 18.



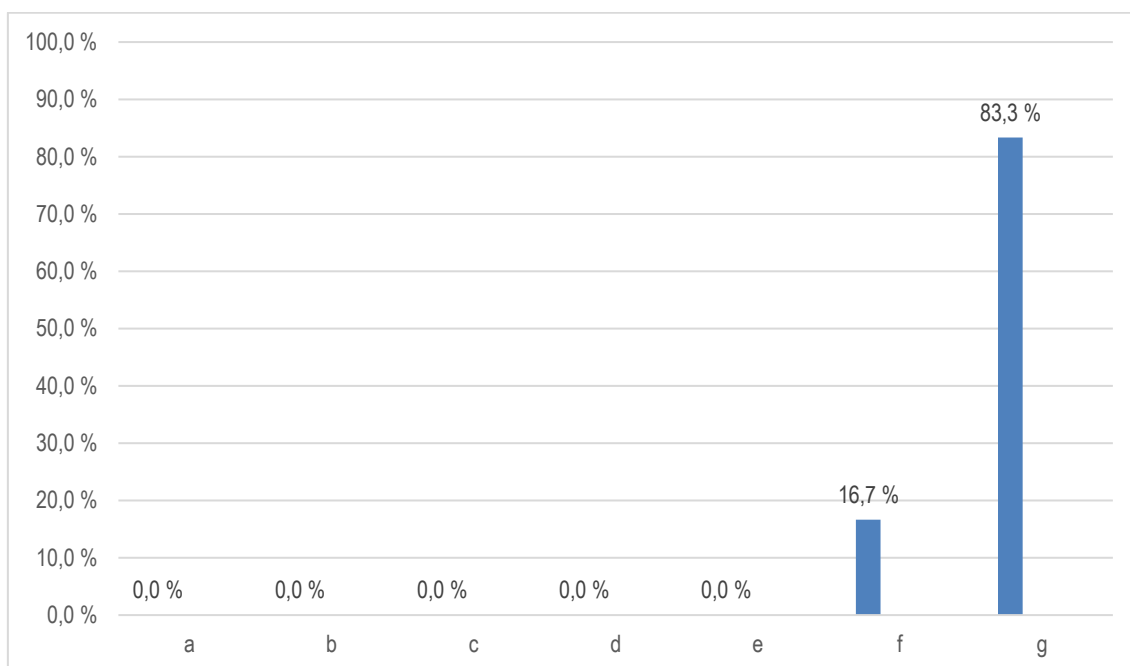
KUVA 18. Taulukon 13 vastausten jakautuminen

TAULUKKO 14. Rakennusliikkeiden vastaukset, 16-kerroksinen rakennus.

- a. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- b. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- c. Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- d. Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- e. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- f. Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- g. Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

1
5

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että rakennusliikkeiden vastaukset ovat lähes täysin keskittyneet vaihtoehtoon g eli rakennusliikkeet arvioivat katolle puhalluksen kustannusten olevan vähintään kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 19.



KUVA 19. Taulukon 14 vastausten jakautuminen

Rakennusliikkeistä yksi arvioi kustannukset täysin samoiksi kuin tässä työssä on laskettu. Kyseisen rakennusliikkeen vastaukset perustuivat arvioon. Kyselytulosten yhteenvetona voi kuitenkin todeta, että rakennusliikkeiden vastaukset olivat hyvin saman suuntaiset tässä työssä laskettujen kustannusten kanssa. Rakennusliikkeiden vastauksissa katolle puhallus painottui hiukan kalliimmaksi kuin lasketut kustannukset. Vastauksissa oli sitä enemmän hajontaa, mitä pienemmästä

rakennuksesta oli kyse. Vastausten hajonta kertoo siitä, että matalassa rakentamisessa on kustannuseron arvioimisessa epävarmuutta ja katolle puhaltaminen saattaisi oikeanlaisilla suunnitteluratkaisuilla muodostua edullisemmaksi toteutustavaksi. Korkeimman rakennuksen kohdalla vastaukset olivat lähes identtiset kaikilla rakennusliikkeillä. Vastausten perusteella voi tehdä johtopäätöksen, että korkean rakennuksen kustannukset ovat selkeästi korkeammat katolle puhalluksessa kuin seinäpuhalluksessa. Tämä tukee hyvin tässä työssä esitettyjä kustannuslaskelmia. Rakennusliikkeiden vastauksista puolet perustui arvioon ja puolet kustannuslaskentaan.

Kyselyn toisena aihekokonaisuutena olivat seinäpuhalluslaitteiden vaikutukset julkisivuun, ulospuhallusratkaisun vaikutus hankkeen onnistumiseen sekä kannanotto siihen, kuinka vahvasti rakennusliikkeet haluavat toteuttaa ulospuhalluksen seinäpuhalluslaitteilla. Jatkokysely lähetettiin kuudelle kustannuskyselyyn vastanneelle rakennusliikkeelle. Vastaukset saatiin kaikilta kuudelta. Kyselylomake on liitteessä 3.

Kyselyn tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätökset, että seinäpuhallus on yleensä lähtökohta, josta hanketta lähdetään toteuttamaan. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutukset julkisivuun vaikuttaisivat olevan niin vähäinen tekijä hankkeessa, että sen perusteella ulospuhallusratkaisua ei nähdä tarpeelliseksi muuttaa. Jos seinäpuhallusratkaisu on hankkeen tavoite, siitä luopumaan joutuminen nähdään jossain määrin hankkeen epäonnistumisena. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty taulukoissa 15–19.

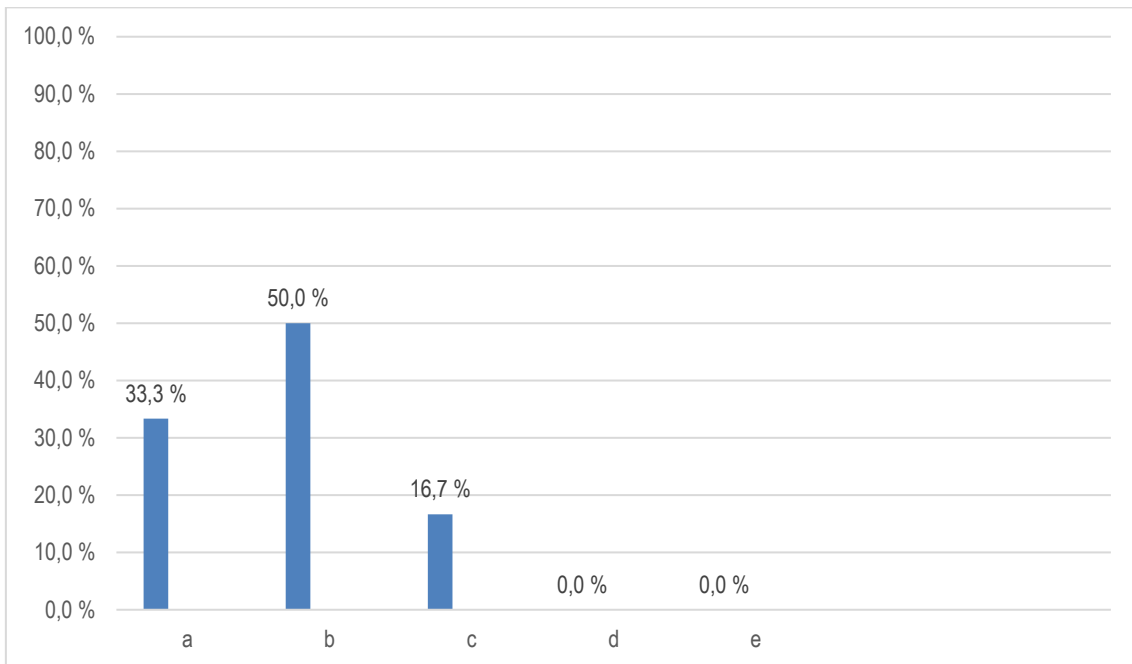
TAULUKKO 15. Rakennusliikkeiden vastaukset, 8-kerroksinen rakennus. Kuinka ulospuhallusratkaisuvaihtoehdot suhtautuvat toisiinsa?

- a. Seinäpuhallus on ainoa vaihtoehto
- b. Pyritään seinäpuhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- c. Seinäpuhallus ja katolle puhallus ovat yhtä hyvät vaihtoehdot
- d. Pyritään katolle puhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- e. Katolle puhallus on ainoa vaihtoehto

2
3
1

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastaukset painotuvat siten, että seinäpuhallus nähdään yleisesti lähtökohtana, kun valitaan ulospuhallusratkaisu 8-kerroksiseen rakennukseen. Käytännössä katolle puhallus ei ollut yhdelläkään vastanneella

lähtökohtana ulospuhallusratkaisuksi. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 20.



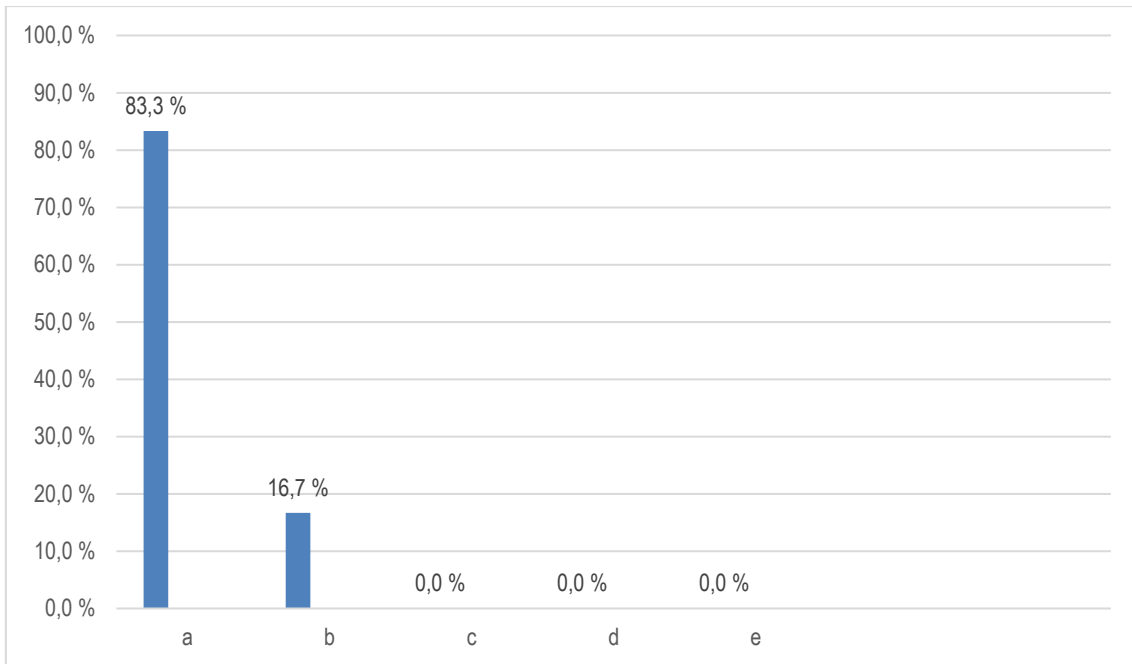
KUVA 20. Taulukon 15 vastausten jakautuminen

TAULUKKO 16. Rakennusliikkeiden vastaukset, 16-kerroksinen rakennus. Kuinka ulospuhallusratkaisuvaihtoehdot suhtautuvat toisiinsa?

- a. Seinäpuhallus on ainoa vaihtoehto
- b. Pyritään seinäpuhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- c. Seinäpuhallus ja katolle puhallus ovat yhtä hyvät vaihtoehdot
- d. Pyritään katolle puhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- e. Katolle puhallus on ainoa vaihtoehto

5
1

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastaukset painotuvat siten, että seinäpuhallus nähdään ainoana vaihtoehtona, kun valitaan ulospuhallusratkaisua 16-kerroksiseen rakennukseen. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 21.



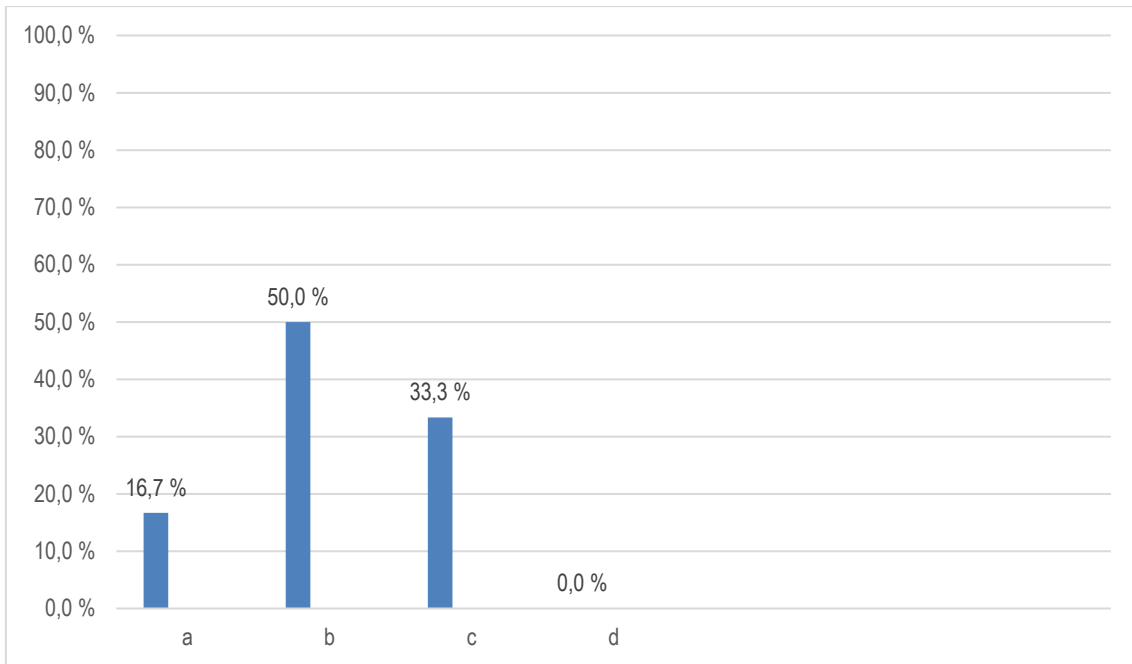
KUVA 21. Taulukon 16 vastausten jakautuminen

TAULUKKO 17. Rakennusliikkeiden vastaukset. Kuinka paljon julkisivuasioita painotetaan valitessa ulospuhallusratkaisua?

- a. Jos seinäpuhallus on valittu ratkaisuksi, ei ole merkitystä mitkä sen vaikutukset ovat
- b. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun on niin vähäinen, ettei asiaan kiinnitetä huomiota
- c. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun tarkastellaan kokonaisuutena
- d. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun tarkastellaan erikseen laite laitteelta

1
3
2

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että seinäpuhalluslaitteiden vaikutuksia julkisivuun tarkastellaan jossain määrin. Julkisivun kannalta ulospuhalluslaitteisiin ei vastausten perusteella kiinnitetä juurikaan huomiota. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 22.



KUVA 22. Taulukon 17 vastausten jakautuminen

TAULUKKO 18. Rakennusliikkeiden vastaukset. Voivatko ulospuhalluslaitteiden vaikutukset julkisivuun saada aikaan sen, että kyseisestä ratkaisusta luovutaan hankkeessa?

- a. Kyllä
- b. Ei

0
6

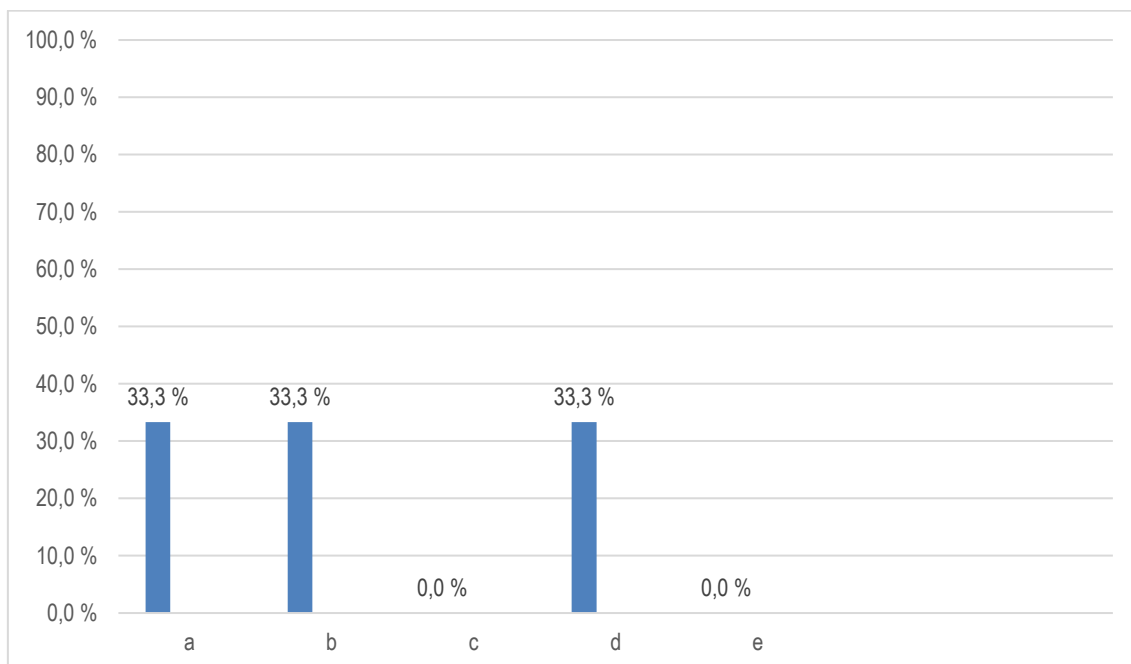
Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että seinäpuhalluslaitteiden vaikutukset julkisivuun eivät käytännössä koskaan muuta ulospuhallusratkaisua. Tämän kysymyksen vastausten jakautuminen vahvistaa taulukossa 17 esitettyjen vastausten perusteella tehtyä johtopäätöstä, että seinäpuhalluslaitteen vaikutusta julkisivuun ei pidetä niin merkittävänä asiana, että siihen kiinnitettäisiin erityistä huomiota.

TAULUKKO 19. Rakennusliikkeiden vastaukset. Oletetaan, että hankkeessa tavoitteena on toteuttaa ulospuhallus seinäpuhalluksena. Kuinka vahvasti ulospuhallusratkaisu määrittelee hankkeen onnistumista?

- a. Hanke on täysin epäonnistunut, jos seinäpuhallusta ei saada toteutettua
- b. Hanketta voi kuvailla epäonnistuneeksi, jos seinäpuhallusta ei saada toteutettua
- c. Kyseessä on vain yksi hankkeen tavoitteista, eikä yksittäinen tekijä määrittele onnistumista
- d. Hanke on yhtä onnistunut ulospuhallusratkaisusta riippumatta
- e. Hankkeen onnistumista ei arvioida ulospuhallusratkaisun perusteella

2
2
2

Taulukossa oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty vastausten lukumäärät. Vastauksista nähdään, että vastaukset ovat aika hajaantuneet. Enemmistö vastaajista näkee hankkeen ainakin jossain määrin epäonnistuneen silloin, jos seinäpuhallusta ei saada toteutettua silloin, kun se on ollut tavoitteena. Jyrkän epäonnistumisen vaihtoehdon a valitsi kuitenkin vain kaksi kuudesta vastaajasta. Kyselyn vastausten jakautuminen on esitetty graafisesti kuvassa 23.



KUVA 23. Taulukon 19 vastausten jakautuminen

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Seinäpuhallusratkaisu on selvästi noussut suosikkiratkaisuksi rakennusliikkeiden keskuudessa. Syykin on selvä: kyseinen ratkaisu on rakennuskustannuksiltaan edullisempi kuin perinteisempi vesikatolle puhaltaminen. Kuten rakentamisessa yleistä on, kustannustekijät ovat erittäin voimakas rakennushanketta ohjaava tekijä. Etenkin korkeassa rakentamisessa rakentamiskustannukset vaikuttavat olevan seinäpuhallusratkaisussa merkittävästi alhaisemmat kuin vesikatolle puhalluksessa.

Arkkitehtoniselta kannalta seinäpuhallus helpottaa asuntojen suunnittelua, koska jäteilmakanaville ei tarvitse suunnitella kerroksittain kasvavia pystyroiloja. Päällekkäisistä asunnoista pystytään suunnittelemaan ja rakentamaan keskenään identtisiä, eikä niiden pinta-ala vaihtele eri kerroksissa. Julkisivujen suunnitteluun jäteilman ulospuhalluslaitteet asettavat omat haasteensa, etenkin kun laitteita ei voi sijoittaa ulkoseinälle vapaasti, vaan on huomioitava ulospuhalluslaitteiden vaaroitaisuudet ja muut laitteiden sijoittamisen erityisvaatimukset.

Korkeassa rakentamisessa seinäpuhallusratkaisu vaikuttaisi olevan monesta näkökulmasta perusteltu ratkaisu. Etenkin energiankulutuksen kannalta seinäpuhallus on hyvä vaihtoehto. Vesikatolle puhallettaessa joudutaan käyttämään sitä enemmän poistopuhaltimen sähköenergiaa, mitä korkeammaksi jäteilmakanava muodostuu. Seinäpuhallusratkaisu asettaa eri kerroksissa sijaitsevat asunnot tasa-arvoisempaan asemaan energiankulutuksen kannalta.

Matalammassa rakentamisessa perusteet käyttää seinäpuhallusta ovat verrattain löyhät. Mitä matalammasta rakennuksesta on kyse, sitä pienemmät ovat kustannuserot vesikatolle puhallukseen verrattuna. Tämän lisäksi poistoilmapuhaltimien sähköenergian kulutuksessa on suhteellisen pienet erot vertailtujen ulospuhallusratkaisujen välillä.

Seinäpuhallusratkaisun mahdolliset ongelmat vaatisivat tarkempia tutkimuksia. Mikäli joku merkittävä ongelma saataisiin näytettyä toteen, tulisi seinäpuhallusratkaisun soveltuvuutta kerrostalorakentamiseen mielestäni tarkastella uudelleen. Kyseisen ratkaisun käyttämiselle on vahvat perusteet oikeastaan vain korkeassa rakentamisessa. Matalassa rakentamisessa se ei ole millään lailla välttämätön tapa rakentaa. Päinvastoin – vesikatolle puhaltaminen on ollut pitkään käytetty

toteutustapa, jota voitaisiin käyttää edelleen. Matalassa rakentamisessa kustannustekijätäkään eivät vaikuttaisi olevan vesikatolle puhaltamisen esteenä.

LÄHTEET

ASHRAE. Hakupäivä 13.9.2021. <https://www.ashrae.org>.

Climecon Oy 2022. UPA ulospuhallussuutin. Hakupäivä 2.2.2022. <https://climeconair.com/fi-fi/tuote/upa/>.

ETS Nord Oy 2022. RVC-ulko- ja ulospuhalluslaite. Hakupäivä 2.2.2022. <https://www.ets-nord.fi/Tuotteet/rvc-yhdistetty-ulko-ja-ulospuhallusilmalaite>.

Eurofins 2019. Varmista virtaussimuloinnilla asuntojen jäteilmän seinäpuhalluksen määräysten mukaisuus ja toimivuus. Hakupäivä 15.2.2022. <https://www.eurofins.fi/expertservices/ajankoh-taista/uutiset/201902-varmista-virtaussimuloinnilla-asuntojen-jaeteilman-seinaepuhalluksen-maeraeystenmukaisuus-ja-toimivuus/>.

Juntunen, Pekka 2020. Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto Putkonen Oy. Puhelinkeskustelu 14.5.2020.

Nupponen, Jukka 2020. Toimitusjohtaja. Arkkitehtitoimisto Veli Karjalainen Oy. Haastattelu 13.5.2020.

Rakentamisen Top Ten -käytännöt.

Hakupäivä 29.3.2022. <https://www.toptenrava.fi/asp2/default.aspx>

Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-yhdistysten liitto.

Simmonds, Peter 2015. Design Guide for Tall, Supertall and Megatall Building Systems. ASHRAE.

Sormunen, Oona 2021. Asuinhuoneiston seinäpuhalluksen tarkastelu ja ilmanvaihdon oppimisym-päristön suunnittelu. Talotekniikka. Karelia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 19.1.2022. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021113022707>.

Talotekniikkainfo 2021. Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-opas, päivitetty 11.6.2021. Hakupäivä 29.3.2022. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/14-ulkoilmalaitteiden-ja-ulospuhallusilmalaitteiden-sijoittaminen>.

Tekniikan kaavasto 2002. Matematiikan, fysiikan ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. 4. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Vilpe Oy 2022a. Vilpe IO -esite. Hakupäivä 18.3.2022. https://www.vilpe.com/app/uploads/2022/02/IO_brochure_all-products_FIN.pdf.

Vilpe Oy 2022b. Vilpe IO. Hakupäivä 2.2.2022. <https://www.vilpe.com/fi/product-category/seinaelementit/>.

Väkiparta, Henri 2018. Yhdistetyn ulospuhallus- ja ilmanottolaitteen kustannusvaikutus kerrostalorakentamiseen. Talotekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 20.10.2021. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805097258>.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Hakupäivä 1.2.2021. <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171009.pdf>.

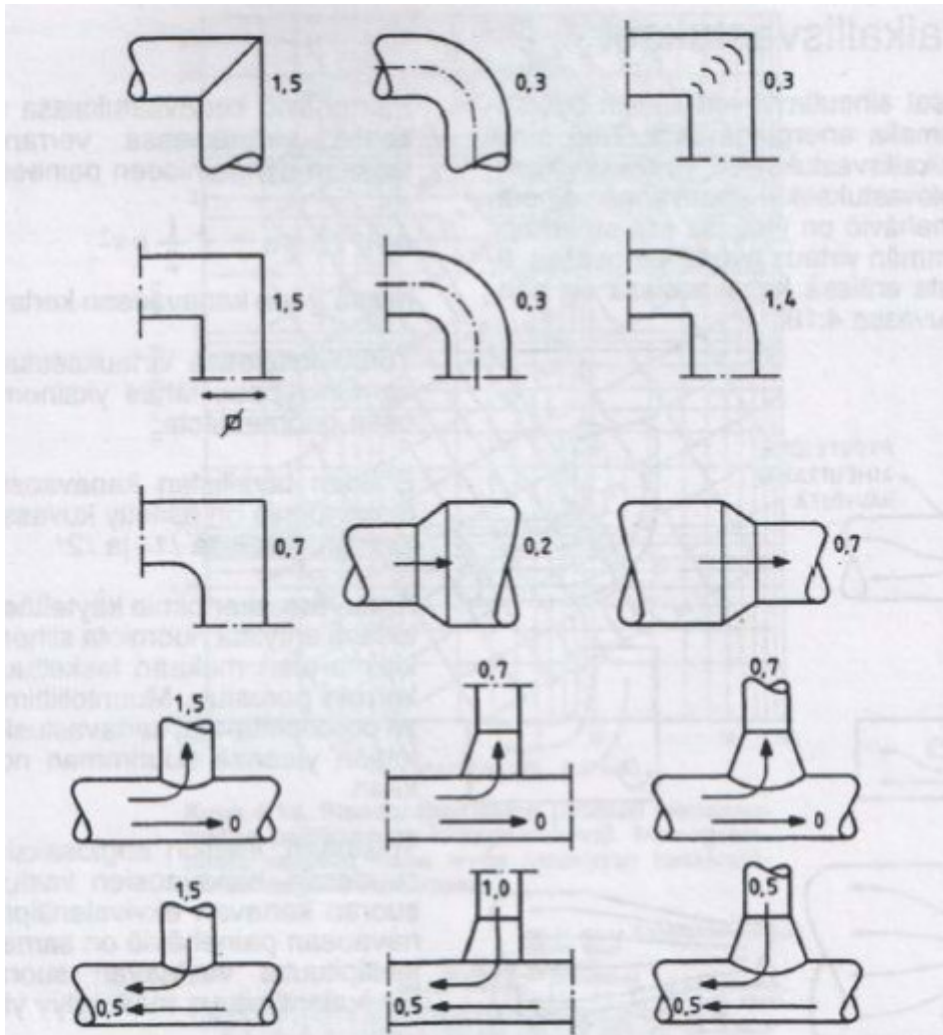
LIITTEET

LIITE 1. Kanavaosien kertavastuksia (Seppänen 1996, 100).

LIITE 2. Kustannuskyselylomake rakennusliikkeille.

LIITE 3. Kyselylomake rakennusliikkeille tavoitteista seinäpuhalluksen suhteen.

LIITE 1. KANAVAOSIEN KERTAVASTUKSIA.



LIITE 2. KUSTANNUSKYSELYLOMAKE RAKENNUSLIIKKEILLE.

Kustannuskysely

Jäteilman seinäpuhalluksen kustannusvaikutus kerrostalohankkeessa

Kerrostalon rakennushankkeessa asuntokohtaisen ilmanvaihdon ollessa kyseessä, on hankkeen alkuvaiheessa ratkaistava, puhalletaanko asuntojen jäteilma ulos vesikatolta vai ulkoseinästä. Kun ajatellaan jäteilman ulospuhallusratkaisua pelkästään kustannustekijöiden kannalta, voidaan ulospuhallusvaihtoehtoja vertailla muuttuvien kustannusten avulla.

Muuttuvia kustannuksia seinäpuhallusratkaisussa ovat:

Asunnon sisälle rakennettavat vaakakotelot, asunnon sisälle rakennettava jäteilmakanava, ulkoseinään asennettava jäteilmalaite ja jäteilman virtaussimulointi.

Muuttuvia kustannuksia vesikatolle puhalluksessa ovat:

Jäteilman pystykanavat sekä niiden pystyroilot, ullakolle asennettavat vaakakanavat, vesikatolle rakennettavat jäteilman kokoojapiiput, asunnon sisälle rakennettavat vaakakotelot ja asunnon raitisilmasäleikkö.

Mikäli vain yllä mainitut kustannukset huomioidaan, kuinka ajattelette

ulospuhallusvaihtoehtojen muuttuvien kustannusten suhtautuvan toisiinsa:

1. 4-kerroksisessa rakennuksessa:

- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

2. 8-kerroksisessa rakennuksessa:

- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

3. 16-kerroksisessa rakennuksessa:

- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Seinäpuhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset katolle puhallukseen verrattuna
- Vaihtoehtojen kustannukset ovat samat
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,4-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat 1,7-kertaiset seinäpuhallukseen verrattuna
- Katolle puhalluksen kustannukset ovat ainakin kaksinkertaiset seinäpuhallukseen verrattuna

Perustuvatko yllä antamanne vastaukset:

- Arvioon
- Kustannuslaskentaan

LIITE 3. KYSELYLOMAKE RAKENNUSLIIKKEILLE TAVOITTEISTA SEINÄPUHALLUKSEN SUHTEEN.

Kysely

Kerrostalohankkeen tavoitteet seinäpuhalluksen suhteen

Tällä kyselyllä pyritään selvittämään kuinka vanhvasti muut kuin kustannustekijät ohjaavat rakennushankkeessa jäteilman ulospuhallusratkaisun valintaa.

Kyselyn kaikissa kysymyksissä oletuksena on, että kerrostalohanke toteutetaan huoneistokohtaisella ilmanvaihtoratkaisulla.

Valitkaa kysymysten vastausvaihtoehdoista parhaiten kuvaava vaihtoehto.

Kerrostalohankkeen alkuvaiheessa täytyy tehdä linjaus siitä, minkälaisella jäteilman ulospuhallusratkaisulla hanketta lähdetään toteuttamaan.

Kuinka ulospuhallusratkaisuvaihtoehdot suhtautuvat toisiinsa?

1. Jos rakennus on enintään 8-kerroksinen:

- a. Seinäpuhallus on ainoa vaihtoehto
- b. Pyritään seinäpuhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- c. Seinäpuhallus ja katolle puhallus ovat yhtä hyvät vaihtoehdot
- d. Pyritään katolle puhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- e. Katolle puhallus on ainoa vaihtoehto

2. Jos rakennus on 16-kerroksinen:

- a. Seinäpuhallus on ainoa vaihtoehto
- b. Pyritään seinäpuhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- c. Seinäpuhallus ja katolle puhallus ovat yhtä hyvät vaihtoehdot
- d. Pyritään katolle puhallukseen, mutta ei kaikin keinoin
- e. Katolle puhallus on ainoa vaihtoehto

3. Kuinka paljon julkisivuasioita painotetaan valittaessa ulospuhallusratkaisua?

- a. Jos seinäpuhallus on valittu ratkaisuksi, ei ole merkitystä mitkä sen vaikutukset ovat
- b. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun on niin vähäinen, ettei asiaan kiinnitetä huomiota
- c. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun tarkastellaan kokonaisuutena
- d. Seinäpuhalluslaitteiden vaikutus julkisivuun tarkastellaan erikseen laite laitteelta

4. Voivatko ulospuhalluslaitteiden vaikutukset julkisivuun saada aikaan sen, että kyseisestä ratkaisusta luovutaan hankkeessa?

- a. Kyllä
- b. Ei

5. Oletetaan, että hankkeessa tavoitteena on toteuttaa ulospuhallus seinäpuhalluksena.

Kuinka vahvasti ulospuhallusratkaisu määrittelee hankkeen onnistumista?

- a. Hanke on täysin epäonnistunut, jos seinäpuhallusta ei saada toteutettua
- b. Hanketta voi kuvailla epäonnistuneeksi, jos seinäpuhallusta ei saada toteutettua
- c. Kyseessä on vain yksi hankkeen tavoitteista, eikä yksittäinen tekijä määrittele onnistumista
- d. Hanke on yhtä onnistunut ulospuhallusratkaisusta riippumatta
- e. Hankkeen onnistumista ei arvioida ulospuhallusratkaisun perusteella
